

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg, Abteilung für Zahnerhaltungskunde

**Einfluss verschiedener medikamentöser
Einlagen
auf den Haftverbund von *AH 26*
zum Wurzelkanaldentin**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt
von

Adrian Baral

aus Frankenthal
Köln 2016

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	4
2 Literaturübersicht.....	6
2.1 Spülflüssigkeiten.....	6
2.2 Medikamentöse Einlagen.....	10
2.3 Wurzelkanalfüllung.....	14
2.3.1 Kernmaterialien.....	15
2.3.2 Wurzelkanalfüllpasten.....	17
3 Ziel der Studie.....	24
3.1 Arbeitshypothese.....	24
4 Material und Methoden.....	25
4.1 Flowchart des Versuchsablaufs.....	25
4.2 Die Probenzähne.....	26
4.3 Aufbereitung der Wurzelkanäle.....	26
4.4 Das Spülprotokoll.....	27
4.5 Die Stahlspreader.....	28
4.6 Die medikamentöse Einlage.....	28
4.7 Zementieren der Stahlspreader.....	29
4.8 Der Pull-out-Versuch.....	30
4.9 Die statistische Auswertung.....	33
4.10 Bestimmung des Frakturmodus.....	34
5 Ergebnisse.....	37
5.1 Statistische Auswertung.....	37
5.2 Auswertung der Frakturmodi.....	39
6 Diskussion.....	40
6.1 Die Probenzähne.....	40
6.2 Die Wurzelkanalfüllung.....	42
6.3 Das Spülprotokoll.....	44
6.4 Die Testverfahren.....	45
6.5 Diskussion der Ergebnisse.....	49

6.6 Prüfung der Arbeitshypothesen.....	50
7 Literaturverzeichnis.....	52
8 Zusammenfassung.....	68
8.1 Summary.....	70
9 Anhang.....	72
9.1 Abkürzungsverzeichnis.....	72
9.2 Frakturmodi.....	73
9.3 Messwerte.....	74
9.4 Materialliste.....	76
9.5 Tabellenverzeichnis.....	77
9.6 Bilderverzeichnis.....	77
9.7 Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	78
9.8 Tabellarischer Lebenslauf.....	78
9.9 Danksagung.....	79
9.10 Ehrenwörtliche Erklärung.....	80

1 Einleitung

Sucht man nach den historischen Wurzeln der Endodontie, also den ersten Versuchen der Diagnostik und Therapie von Zahnschmerzen, so könnte man Pierre Fauchards (1678-1761) Werk "Le Chirurgien Dentiste" aus dem Jahre 1728 als Anfang dessen sehen, aus dem dieser Zweig der Zahnmedizin entsprungen ist [115].

Fauchard ging davon aus, dass der Ursprung des Übels Zerfall und Schmerz in einem Lebewesen, das er den Zahnwurm nannte, zu finden sei. Dieser Wurm sollte im Zahn leben und diesen von innen heraus zerfressen [115]. Therapeutisch sah Fauchard vor, den Zahn zu trepanieren und das Innere mit einem heißen Eisendraht zu kauterisieren. Anschließend sah er vor, das Kanalsystem, soweit möglich, mit Blei zu füllen [115]. Der inzwischen schon seit mehr als 250 Jahren andauernde wissenschaftliche Prozess der Zahnforschung führte über einige Umwege und Irrungen zu dem heutigen umfangreichen Wissen über den Zahn und dessen Pathologie [76]. Heutzutage wissen wir deutlich mehr über das Zahnsystem, und wir verfügen auch über deutlich komplexere Methoden der Therapie [76]. Führt man daher eine zeitgemäße endodontische Behandlung durch, so macht es keinen Sinn, nur die einzelnen Produkte und Methoden zu analysieren. Heute beinhaltet eine komplette endodontische Therapie bis zur Wurzelfüllung die Kombination vieler medizinischer Produkte [48, 51, 61, 90, 102, 103, 107, 125]. Dies erfordert ein komplexeres Denken, da man nun nicht nur jedes Produkt für sich sehen darf, sondern auch die möglichen Therapien als Ganzes analysieren muss [61].

Eine Wurzelkanalfüllung beginnt in der Regel mit der Trepanation des Zahnes und endet mit der postendodontischen Versorgung [76]. Jeder Schritt, von Anfang bis Ende der Behandlung, ist als Puzzleteil zu sehen, wobei sich am Ende der Behandlung aus allen Puzzleteilchen zusammen das Gesamtbild einer ästhetischen und funktionellen langzeitstabilen Versorgung ergeben soll. Es existieren zahlreiche Studien, welche sich mit den adhäsiven Eigenschaften

von endodontischen Sealern beschäftigen [6, 15, 19, 25, 43, 56]. In der heutigen Praxis müssen Wurzelkanalbehandlungen je nach Situation teilweise in mehreren Sitzungen durchgeführt werden [9, 47, 99, 137, 129]. Dies erfordert die Anwendung von medikamentösen Zwischeneinlagen, also einem Material, welches sich über einen längeren Zeitraum in unmittelbarem Kontakt zur späteren Verbundfläche befindet [129].

Ziel der vorliegenden Studie soll es nun sein zu evaluieren, welche Kombinationen von Medikament und Sealer geeignet sind, um eine Wurzelfüllung mit bestmöglicher Langzeitprognose zu schaffen. Speziell wird dabei *AH 26*, ein seit langem in der Endodontie eingesetztes und auch schon in vielen Studien untersuchtes Präparat im Hinblick auf seine adhäsiven Fähigkeiten zum Wurzelkanalentin getestet, nachdem dieses zuvor mit verschiedenen medikamentösen Einlagen behandelt wurde [130].

2 Literaturübersicht

2.1 Spülflüssigkeiten

Eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung beruht auf korrekter Aufbereitung, Spülung und Füllung der Wurzelkanäle [17]. Die mechanische Aufbereitung alleine führt nicht zu einer ausreichenden Keimreduktion im Kanalsystem [17, 65, 79]. Trotz des Vorhandenseins einer Bandbreite verschiedener Spüllösungen erreicht man in der Regel keine vollkommene Keimfreiheit, da wegen seiner anatomischen Komplexität nicht alle Bereiche eines Wurzelkanals erreicht werden können [79]. Ideal ist eine geeignete mechanische Aufbereitung des Kanals, welche durch eine speziell abgestimmte Kombination mehrerer Spülflüssigkeiten ergänzt wird [79].

Ebenfalls essentiell für eine suffiziente Keimreduktion ist die Entfernung der durch die Instrumentierung des Wurzelkanals entstehenden anorganischen Schmierschicht, des so genannten „Smear layer“, sowie das Auflösen und Herausspülen von organischem und anorganischem Kanalinhalt, der nach der Aufbereitung verbleibt und der mechanischen Bearbeitung nicht zugänglich ist [78, 85]. Bei der Smearlayer handelt es sich um Dentinabrieb, Pulparesten und Odontoblastenfortsätze, welche nach mechanischer Aufbereitung an den Wurzelkanalwänden verbleiben [119]. Sie ist 1-5 µm dick und kann die Dentintubuli bis zu 40 µm infiltrieren, was die Wirkung von medikamentösen Einlagen und Spülmitteln vermindert und somit einer suffizienten Keimreduktion des Wurzelkanals im Wege steht [4, 17]. Wird der Kanal dann gefüllt, können in der Smear layer verbleibende Bakterien das gesamte Kanalsystem wiederbesiedeln [28]. Das Entfernen der Smearlayer führt außerdem zu einer verbesserten Adaption und Adhäsion der Wurzelfüllung an die Kanalwände [34, 38].

Um eine erfolgreiche Kanalreinigung durch Spülung zu erreichen, sind zum einen die chemischen Eigenschaften der Flüssigkeit relevant, zum anderen aber auch die Art und Weise der Anwendung [23, 30]. Die Flüssigkeit sollte den ganzen Kanal erreichen, wobei sich der Bereich kurz vor dem Apex als besonders schwierig erweist [23, 154]. Zunächst ist eine ausreichende

Aufbereitung des Kanals hierfür erforderlich; Die Spülkanüle sollten bis in das apikale Drittel geführt werden können [23]. Erst dann ist es der Flüssigkeit möglich auch die apikalen Bereiche des Kanals zu durchspülen [4, 154]. Es kommt dabei ebenfalls auf Größe und Art der Nadel, sowie die Flussrate und das Flüssigkeitsvolumen, mit dem gespült wird, an. Dabei ist darauf zu achten, dass die Nadel den Kanal nicht komplett verschließt und man nicht mit zu viel Druck spült, da es durch den so entstehenden Überdruck zu Schäden des periapikalen Gewebes kommen kann [137]. Dennoch ist es schwierig sicherzustellen, dass die Spülflüssigkeit das apikale Ende des Wurzelkanals auch wirklich erreicht [4, 23, 154].

Es gibt verschiedene Methoden mit denen man die Spülung verbessern kann. Man spricht dann von der so genannten „Aktivierung“ der Spülflüssigkeiten [23, 30]. Es werden Methoden beschrieben, bei denen die Flüssigkeit im Kanal mithilfe von Handinstrumenten oder Stiften verteilt werden soll (*manual dynamic activation*), sowie maschinelle Anwendungen (*machine-assisted agitation devices*), wie zum Beispiel rotierende Bürsten, Applikation von hydraulischem Druck (z.B. *apical negative pressure*) sowie eine Schall- oder Ultraschall gestützte Spülung [14, 17, 23, 30].

Die besten Resultate erzielt dabei die Ultraschall- und Schallaktivierung der Flüssigkeiten [14]. Sie wirkt sich sowohl positiv auf die Keimzahl als auch auf die Entfernung von anorganischen und organischen Geweben sowie der Smearlayer aus [14, 65]. Hierbei wird die im Kanal befindliche Flüssigkeit mithilfe eines oszillierenden Fortsatzes in Schwingung gebracht, wodurch Mikroströmungen entstehen. Die sogenannte „passive ultrasonic irrigation“, also die Aktivierung und Spülung der Aufbereitung separat, ist kombinierten Methoden, bei denen die Spülung mit ultraschallgekoppelter Aufbereitung kombiniert wird, überlegen [147]. Außer den genannten Methoden stehen noch weitere Maßnahmen zur Desinfektion des Kanalsystems zur Verfügung, wie die Laseranwendung und die photoaktivierte Desinfektion, welche jedoch ausschließlich als Ergänzung und nicht als Alternative zu betrachten sind [7, 14]. Um die verschiedenen Spülflüssigkeiten zu vergleichen, beurteilen wir sie nach den Gesichtspunkten antibakterielle Wirkung, Bioverträglichkeit, gewebslösende Wirkung und Einfluss auf den so genannten Smearlayer [17].

Antibakterielle Wirkung

Endodontische Spülflüssigkeiten sollten ein möglichst breites Spektrum von Bakterien bekämpfen bzw. so miteinander kombiniert werden, dass ein möglichst breites Spektrum an Mikroorganismen bekämpft wird [28].

E. faecalis, *A. israelii*, Streptokokken, Staphylokokken und *C. albicans* sind Krankheitserreger, die häufig bei endodontisch gefüllten Zähnen mit peri-apikalen Entzündungen nachweisbar sind [113, 116]. Somit ist anzunehmen, dass der Verbleib dieser Keime erheblichen Einfluss auf die Langzeitprognose des behandelten Zahnes hat [142]. Bei der Auswahl einer geeigneten Spülflüssigkeit sollte besonders auf eine antimikrobielle Wirkung gegen diese Keime geachtet werden [44, 113, 116].

Natriumhypochlorit und Chlorhexidindiglukonat (CHX) weisen beide eine gute antibakterielle Wirkung gegen ein breites Spektrum an relevanten Keimen auf [42, 139]. Es wurden u.a. gute Wirksamkeit gegen den Revisionsproblemkeim *E. faecalis* sowie *C. albicans* nachgewiesen [46, 118]. CHX eignet sich zwar nicht zur Reduktion von Toxinen, besitzt dafür jedoch eine hohe Substantivität, hat also eine lang anhaltende bakterizide Wirkung [124]. Selbst nach 12 Wochen konnte noch eine Wirkung nachgewiesen werden [124]. Wasserstoffperoxid (H_2O_2) hingegen ist nur sehr gering antibakteriell wirksam [140]. Ethylendiamin-tetraacetat (EDTA) weist je nach verwendeter Konzentration eine geringe bis nicht vorhandene antibakterielle Wirkung auf, vermag jedoch die Wirkung von Natriumhypochlorit (NaOCl) deutlich zu steigern [28]. Durch die Entfernung der Smearlayer wird es dem NaOCl ermöglicht, ungehindert das Dentin zu erreichen und die Dentintubuli tiefer zu infiltrieren [28]. Wird alternierend mit EDTA und NaOCl gespült, ist darauf zu achten, dass große Spülvolumina von NaOCl verwendet werden, da der Chelator das freie Chlor von NaOCl abfängt und somit die antibakteriellen und gewebslösenden Eigenschaften des NaOCl herabsetzt [125]. Prinzipiell lässt sich die antibakterielle Wirkung der Flüssigkeiten durch Schallaktivierung und höhere Spülvolumina steigern [14].

Bioverträglichkeit

Chlorhexidingluconat gilt aufgrund seiner guten Gewebeverträglichkeit und geringen Toxizität als unbedenklich [60]. Bei Langzeitanwendungen treten jedoch reversible Nebenwirkungen, wie Verfärbungen von Zähnen und Zunge, sowie Geschmacksirritationen auf [148].

NaOCl wird als geringfügig zytotoxisch und somit als akzeptabel eingeschätzt [62]. Es ist jedoch zu beachten, dass die proteolytischen Eigenschaften von Natriumhypochlorit, welche zur gewebslösenden Wirkung beitragen, zur Verringerung von Härte und Biegefestigkeit des Dentins führen, abhängig von der jeweils verwendeten Konzentration der Lösung [90]. Dies kann zu Rissbildungen führen [90]. Außerdem ist zu beachten, dass Natriumhypochlorit die Haftung von Komposit-Bondingsystemen herabsetzt [107].

Werden jedoch CHX mit NaOCl kombiniert angewandt, so kommt es zu orange-braunen Ausfällungen, welche dazu neigen die Dentintubuli zu verschließen [125]. Hierbei handelt es sich um Parachloranilin, ein hoch toxisches und kanzerogenes Material [18, 125]. Deshalb wird bei kombinierter Anwendung empfohlen, steriles Wasser oder isotonische Kochsalzlösung als Zwischenspülung zu verwenden [51].

Die Zytotoxizität von EDTA ist so gering, dass es in der Augenheilkunde sogar als Trägerstoff für Medikamente angewandt werden kann [24]. Das Material sollte jedoch nicht länger als eine Minute im Kanal verbleiben, da nachgewiesen wurde, dass 17% EDTA die Dentinhärte bei längerer als einminütiger Anwendung bereits signifikant reduziert und dass eine einminütige Wirkzeit bereits ausreicht, um den Smearlayer effektiv zu entfernen [29, 126].

Bei H_2O_2 handelt es sich ebenfalls um eine gering toxische Substanz, jedoch hat Wasserstoffperoxid eine bleichende Wirkung auf Zahngewebe und wirkt auch blutstillend [57]. Die früher übliche Kombination von NaOCl und H_2O_2 ist heute obsolet, da der dabei entstehende naszierende Sauerstoff zu unkontrollierten Druckwirkungen im Kanalsystem führen kann und die gewebsauflösende Wirkung von NaOCl neutralisiert [57].

Entfernung der Schmierschicht

EDTA ist in der Lage die Schmierschicht effektiv zu beseitigen. Hierfür erwiesen sich Konzentrationen von 15-17% als am besten geeignet [119]. Alternativ bietet sich die Verwendung von Zitronensäure an [139]. Die Auflösung der Smearlayer wird weiter begünstigt durch eine schall- oder ultra-schallgestützte Spülung [23, 30]. Sowohl NaOCl als auch H_2O_2 sowie auch CHX sind nicht in der Lage den Smearlayer zu entfernen [37, 85].

Gewebelösende Wirkung

Natriumhypochlorit ist ein unspezifisch proteolytischer Stoff [94]. Dies zeigt sich zum einen darin, dass es vitales als auch nekrotisches Gewebe suffizient löst, wobei sich diese Eigenschaften durch erhöhte Konzentration und Erhöhung der Temperatur steuern lassen [98]. Außerdem löst es die organische Dentinmatrix. Natriumhypochlorit ist in seiner lytischen Wirkung allen anderen Spülflüssigkeiten deutlich überlegen [98]. Weder H_2O_2 , noch Zitronensäure, EDTA oder CHX verfügen über eine nennenswerte gewebslösende Wirkung [98, 94, 104].

2.2 Medikamentöse Einlagen

Die Wurzelkanalaufbereitung reduziert zwar die Keimzahl, kann jedoch keine absolute Keimfreiheit im Wurzelkanalsystem herstellen [17, 65, 79]. Aus diesem Grund wird besonders bei nekrotischen infizierten Pulpen und periapikalen Entzündungen eine medikamentöse Einlage empfohlen [9, 99, 127]. Es wird jedoch auch eine so genannte „Single-visit“-Behandlung diskutiert, speziell bei irreversiblen Pulpitiden [9, 99, 127]. Der medikamentösen Einlage, also einer Wurzelkanalbehandlung mit mindestens 2 Terminen („Multiple visit“), steht also die „Single-visit“- Behandlung, bei der der Zahn in einer Sitzung ohne

Verwenden einer medikamentösen Einlage fertig gefüllt wird, gegenüber. In mehreren Studien wurde eine längere Schmerzempfindlichkeit bei der „Single visit“ Behandlung im Vergleich zur Behandlung mit einer medikamentösen Einlage beschrieben [9, 99, 127]. Die Heilungsraten waren dagegen in einzelnen Studien geringfügig besser bei sofortiger Wurzelkanalfüllung, meist jedoch identisch mit denen von „Multiple-visit“-Behandlungen [9, 47, 99, 127].

Dennoch gibt es für medikamentöse Einlagen noch mehr Indikatoren als nur die der Keimelimination im Wurzelkanalsystem. Mögliche Indikationen für eine medikamentöse Einlage sind [129]:

- Elimination von Mikroorganismen
- Verminderung oder Behandlung von Schmerzen
- Behandlung von Exsudat aus dem Periapex
- Induzierung von Heilung und Hartgewebsbildung im Periapex
- Beherrschung von entzündlichen Resorptionen

Ausgehend davon, dass es das ideale Medikament für eine medikamentöse Zwischeneinlage nicht gibt, sondern dass es bei der Entscheidung, ob und welche Einlage sinnvoll ist, auf den jeweiligen Einzelfall ankommt, werden nachfolgend nicht die einzelnen Eigenschaften der Substanzen miteinander verglichen, sondern wird auf jedes Präparat und dessen Wirkung einzeln eingegangen.

Eine medikamentöse Einlage sollte zudem folgenden Kriterien genügen [3]:

- antibakteriell
- entzündungshemmend
- hartsubstanzbildungsfördernd
- schmerzlindernd
- nicht irritierend für das apikale Gewebe
- gutes Diffusionsvermögen durch das Dentin
- schnelle und lang anhaltende Wirkung
- wirksam trotz Vorliegen von Eiter und Gewebsresten im Wurzelkanal

- wasserlöslich
- leicht zu applizieren und entfernen
- nicht zahnverfärbend
- preiswert
- lange Haltbarkeit

Die Auswahl an möglichen medikamentösen Einlagen ist recht groß. Dennoch genügt keine Einlage allen genannten Anforderungen [41, 120,133].

Kalziumhydroxid

Kalziumhydroxid hat einen pH-Wert von 12,6 und ist somit stark alkalisch [41]. Es gibt Hydroxylionen in seine Umgebung ab. Hierbei handelt es sich um hochreaktive Radikale [41, 133]. Diese führen zur Zerstörung von bakteriellen Zellmembranen, Eiweißdenaturierung und Schädigung von bakterieller DNA, was das Material stark bakterizid macht [27, 133]. Werden die Hydroxidionen durch Reaktionen verbraucht, lösen sich weitere aus dem Kalziumhydroxid heraus. Die üblicherweise applizierte Menge des eigentlich schwerlöslichen Materials ist somit in der Lage das Kanalsystem für einen längeren Zeitraum mit Hydroxidionen zu versorgen. Hiermit lässt sich die langzeitbakterizide Wirkung von Ca(OH)_2 erklären [27]. Eine siebentägige Einlage von Ca(OH)_2 führt zu einer nachweislichen Keimreduktion im Wurzelkanalsystem [135]. Nicht ausreichend wirksam ist das Material dagegen gegen Enterokokken und *C. Albicans* [133]. Ferner ist eine gewisse Wirksamkeit gegen den Problemkeim *E. faecalis* nachweisbar, jedoch zeigen Studien, dass sich der Keim trotz korrekt durchgeführter Aufbereitung, Spülung und Kalziumhydroxid-Einlage nicht sicher eliminieren lässt [41, 120, 133].

Wird vor der medikamentösen Einlage mit 17% EDTA und 5,25% NaOCl alternierend gespült, kommt es zur Entfernung des Smearlayers. Dadurch können Kalzium und Hydroxyl-Ionen besser in das Dentin diffundieren [48]. Das Ca(OH)_2 reagiert mit dem im Dentin befindlichen CO_2 und wirkt somit gegen Anaerobier; man spricht von einer indirekten antibakteriellen Wirkung [77].

Ferner regt Kalziumhydroxid die Knochenneubildung an und fördert die

gewebsauflösende Wirkung von NaOCl-Spülungen. Kalziumhydroxideinlagen führen zu keiner Verfärbung der Zahnschubstanz [3, 84]. Es wird von einer Langzeitanwendung von über 4 Wochen abgeraten, da Kalziumhydroxid die mechanischen Eigenschaften des Dentins herabsetzt und es fraktur anfälliger macht [155]. Mit Kalziumhydroxid behandelte Wurzelkanäle erreichen nur eine verringerte Haftung zu Epiphany-Sealern [15]. Es sind viele verschiedene Kalziumhydroxid-Präparate auf dem Markt, insbesondere wird das Material in Kombination mit Steroiden zur Symptombekämpfung oder mit CHX vermengt angeboten, um das antibakterielle Spektrum zu erweitern [12, 95]. Die Wirkung des Chlorhexidindiglukonat-Gels verbessert die Wirkung des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gegen *E. faecalis* und *C. albicans* nachweislich. [12, 95, 120].

Ledermix

Die Paste enthält ein Antibiotikum der Tetracyclinklasse (Demeclocyclinhydrochlorid), sowie ein Kortikosteroid (Triamcinolonacetonid) [83]. Ziel ist es, durch das Antibiotikum die Bakterien zu bekämpfen und durch das Glucocorticoid die Entzündungsreaktion zu reduzieren und somit den Schmerz zu lindern [2, 80, 89]. Das Medikament wirkt nachweislich antibakteriell, weist jedoch Lücken im Spektrum auf, unter anderem gegen den Problemkeim *E. Faecalis* [10, 11, 89]. Da es sich bei der bakteriziden Substanz um ein Antibiotikum handelt, das die Entstehungen von resistenten Keimen fördert, ist der Einsatz sehr fraglich [1, 20]. Der Gebrauch von Antibiotika sollte nur nach strenger Indikation erfolgen [1, 20]. Ledermix führt bei Patienten mit apikalen Entzündungen zu schnellerer Schmerzreduktionen als bei Medikamenten ohne Glucocorticoidanteil [40]. Dies ist jedoch nicht durch die bessere therapeutische Wirkung, sondern durch die Symptomunterdrückung durch das Glucocorticoid zu erklären [40, 80]. Auf systemischer Ebene sind Nebeneffekte durch das Glucocorticoid äußerst unwahrscheinlich [2]. Ledermix ist ebenfalls ein wirksames Medikament um entzündliche Wurzelresorptionen zu verhindern [114].

Phenole

Campher-Paramonochlorphenol (CMCP) hat eine sehr kurze Halbwertszeit; nach 24h sind 95% des in der Pulpakammer platzierten Materials bereits verloren [27, 92]. Das und die eingeschränkte antibakterielle Wirkung führen zu einer unzureichenden desinfizierenden Wirkung von Wurzelkanälen [27, 124] CMCP ist zytotoxisch [138].

Chlorhexidin

Chlorhexidin eignet sich aufgrund seiner breiten antimikrobiellen Wirkung, seiner guten Verträglichkeit sowie seiner Substantivität zu Dentin (siehe Kapitel 4.1) ebenfalls als medikamentöse Einlage. Es verfügt jedoch im Gegensatz zu Kalziumhydroxid über keinen gewebslösenden Effekt und ist ferner nicht in der Lage, die bereits gebildeten Endotoxine zu neutralisieren [60].

2.3 Wurzelkanalfüllung

Die Aufgabe der Wurzelkanalfüllung ist es, den Wurzelkanal von der Pulpakammer bis zum endodontischen Apex biokompatibel und hermetisch zu verschließen, um eine Reinfektion des Wurzelkanals sowohl von koronal als auch von apikal zu verhindern [76]. Ferner soll ein dichter apikaler Verschluss Mikroorganismen, die nach der Reinigung im Kanalsystem verbleiben, von einem Eintritt in den Periapex abhalten [76].

Ein ideales Wurzelfüllmaterial sollte somit folgende Kriterien erfüllen; modifizierte Liste nach Grossman (1976) [56]:

- leicht applizierbar
- langsames Abbinden
- keine Schrumpfung
- gutes apikales und laterales Versiegeln, hermetisches Abdichtungsverhalten

- gute Adhäsion an der Kanalwand
- Flüssigkeitsdurchlässigkeit
- röntgenopak
- keine Verfärbung der Zahnhartsubstanz
- steril oder leicht sterilisierbar
- leicht entfernbar
- nicht resorbierbar in Gewebsflüssigkeit

Da ein einziges Füllmaterial diesen Anforderungen nicht gerecht wird, greift man heutzutage auf eine Kombination von festen bis plastischen Materialien und Füllpasten (Sealern) zurück.

2.3.1 Kernmaterialien

Kernmaterialien für Wurzelkanalfüllungen bestehen entweder aus Guttapercha, Metall oder verschiedenen Kunststoffen [3, 64].

Guttapercha

Guttapercha ist das erprobteste und am weitesten verbreitete Material zur Obturation des Wurzelkanals [52]. Es wird aus dem Milchsaft des im malaiischen Raum heimischen Guttaperchabaumes (*Palaquium gutta*) gewonnen [53]. Es weist eine chemische Verwandtschaft zu Kautschuk auf, wobei es sich jedoch im Gegensatz zu diesem nicht um die cis-, sondern um die trans-1,4-verknüpfte Form handelt [53]. Es handelt sich bei Guttapercha um ein thermoplastisches Material [49]. Daher bieten sich neben den kaltverarbeitenden Techniken auch thermoplastische Fülltechniken an [49].

Um es für die dentale Anwendung zu optimieren werden dem Material noch weitere Stoffe beigemengt, deren Anteil je nach Hersteller variiert. Hierbei handelt es sich in der Regel um Bariumsulfat, um die spätere Füllung

undurchlässig für Röntgenstrahlen zu machen, Zinkoxid wegen seinen bakteriostatischen und entzündungshemmenden Eigenschaften, sowie um Weichmacher und Farbstoffe [49]. Guttapercha ist ein Polyisopren, das je nach Anordnung der Untereinheiten in der α - oder β -Form vorliegt [5]. Die α -Phase liegt in der Urform, also im frisch geernteten Material vor. Erhitzt man diese auf über 65°C und lässt sie rasch wieder abkühlen, entsteht die β -Phase, durch langsames Abkühlen wiederum die α -Phase [53]. Während die α -Phase aufgrund ihrer Klebrigkeit und Fließfähigkeit vor allem bei thermoplastischen Verfahren Verwendung findet, ist die β -Phase wegen ihrer Härte besser zum Kompaktieren, also der Kaltverarbeitung, geeignet [86]. Unabhängig von der Verarbeitung ist Guttapercha ohne Verwendung eines Sealers nicht in der Lage einen Wurzelkanal auf Dauer dicht zu versiegeln [136, 143]. Die Biokompatibilität reiner Guttapercha ist als gut zu bewerten; nach längerer Liegezeit konnte jedoch eine geringe Zytotoxizität von dentalen Guttaperchaspitzen bei direktem Zellkontakt nachgewiesen werden [110]. Das Material nimmt bei längerer Liegedauer kein Wasser auf und ist wasserundurchlässig, es ist also auch keine Dimensionsveränderung durch Aufquellen des Materials nachweisbar [58]. Des weiteren wird Guttapercha vom Körper in keiner bekannten Weise resorbiert [109]. Die Löslichkeit von Guttapercha ist vor allem für Revisionsbehandlungen relevant. Hierfür eignen sich prinzipiell Chloroform, Eukalyptusöl, Orangenöl, Xylen oder auch Terpentin, wobei letzteres in der Endodontie kaum Verwendung findet [70]. Welches Material die besten lösenden Eigenschaften auf Guttapercha hat, ist sehr herstellerabhängig [70, 144]. Dies ist mit der verschiedenen Zusammensetzung der Spitzen zu erklären [49, 70, 144]. Natriumhypochlorit beeinflusst bei direktem Kontakt die mechanischen Eigenschaften der Guttapercha negativ [146]. Es sollte also nur in gut getrocknete Wurzelkanäle eingebracht werden. Chlorhexidin hat dagegen keinen Einfluss auf das Material [146]. Es weist ebenfalls eine antibakterielle Wirkung auf, welche jedoch nicht auf das Material selbst zurückzuführen ist, sondern auf das beigemengte Zinkoxid [150].

Silberstifte

Silberstifte weisen ein schlechtes Abdichtungsverhalten auf und neigen zu Korrosion, wobei sich zytotoxische Silbersalze bilden [54]. Somit gibt es kaum eine rechtfertigende Indikation Silberstifte als Wurzelfüllmaterial zu nutzen [54, 64].

2.3.2 Wurzelkanalfüllpasten

Wurzelkanalfüllpasten werden in Kombination mit einem Kernmaterial angewandt und sollen die Inkongruenzen zwischen der Form der Wurzelkanalwand und jener des Kernmaterials volumenstabil ausfüllen [97].

Man kann heutzutage auf eine große Zahl von Sealern zurückgreifen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über verschiedene Sealer und deren Materialgruppen.

Tabelle 1: Einteilung der Wurzelkanalfüllpasten

Materialgruppen von Wurzelkanalsealern	
Epoxide	<i>AH Plus, AH 26, TopSeal</i> (Dentsply DeTrey)
Glasionomerkemente	<i>KetacEndo</i> (3M Espe) <i>Endion</i> (Voco)
Silikone	<i>GuttaFlow</i> und <i>RoekoSeal</i> (Coltène Whaledent)
Calciumsalicylate	<i>Sealapex</i> (Kerr Sybron) <i>Apexit</i> (Vivadent) <i>Acroseal</i> (Septodont) <i>Metapex</i> (Metabiomed)
Komposite	<i>Resilon, Epiphany</i> (Pentron, Corp.) <i>RealSeal</i> (Sybron Endo) <i>Hybrid RootSEAL</i> (J. Morita Europe) <i>EndoREZ</i> (Ultradent Corp.)
Zinkoxideugenole	<i>Tubli-Seal, Pulp Canal Sealer</i> (Sybron Endo) <i>ProcoSol</i> (Star Dental) <i>801 Grossman</i> (Roth International) <i>Endofill</i> (Universal Dental) <i>Aptal-Harz</i> (Speiko) <i>Endoflas</i> (Sanlor) <i>Sultan</i> (Sultan Chemists)
Polyketone	<i>Diaket</i> (EM/Espe AG, Neuss, Deutschland)

Um die verschiedenen Wurzelkanalfüllpasten zu vergleichen, beurteilen wir sie nach den Gesichtspunkten Volumenstabilität, Biokompatibilität, Löslichkeit, antibakterielle Wirkung, Dichtigkeit und Adhäsion.

Volumenstabilität

Volumenveränderungen von Wurzelkanalfüllpasten beim Abbinden können zu Spaltbildungen führen und somit die Dichtigkeit von Füllungen stark reduzieren [21]. Um diesen Fehlerfaktor zu minimieren, empfiehlt es sich mit möglichst dünnen Sealerschichten zu arbeiten, also den Kanal größtenteils mit Kernmaterial zu füllen und mit einem Material mit möglichst geringem Volumenverlust zu arbeiten [153].

Nordahl et al. untersuchten in einer Studie die Volumenveränderungen von Sealern in den ersten 48 Wochen nach dem Aushärten. Zinkoxideugenole wiesen eine Schrumpfung von 0,3-1% auf, wobei als Sonderfall *ProcoSol* (*Star Dental, DentalEZ Group*) eine Expansion von 6% aufwies. Epoxiden zeigten eine Expansion von 4-5%, speziell *AH Plus* eine Expansion von 0,4-0,9%. Apexit als Vertreter der Calciumsalicylate wies eine Schrumpfung von -0.14 bis hin zu einer Expansion von +0.19% auf. *RoekoSeal* als Vertreter der Silikone eine Expansion um 0,2% [106]. Kazemi et al. beobachteten mit einem ähnlichen Aufbau bei *Diaket*, einem Polyketon-Sealer, eine Schrumpfung von 1,18%, *Ketac-Endo*, ein Sealer auf GIZ-Basis, erreichte beim Abbinden sogar eine Volumenschrumpfung von 18,18% [72].

Biokompatibilität

Da endodontische Sealer mit der Zeit abgebaut werden können und über das Foramen apikale den Zahn verlassen und somit in den Organismus geraten können, ist es wichtig, über den Effekt, den das Material auf den Zahn und den

gesamten Körper haben kann, Bescheid zu wissen [96].

AH 26 gibt während seines Abbindeprozesses Formaldehyd an seine Umgebung ab, da Hexamethylentetramin zu Ammoniak und Formaldehyd zerfällt [75]. Aufgrund dessen ist das Material als leicht zytotoxisch und als potentiell Allergen einzustufen [26, 63]. Nach dem Abbinden kommt es zu keiner weiteren messbaren Formaldehydfreisetzung. Bei seinem Folgeprodukt *AH Plus* wurde Hexamethylethylentetramin ersetzt, um somit eine Formaldehyd Freisetzung zu verhindern [75]. Zinkoxid-Eugenol-Pasten fördern die Entstehung einer Aspergillose in der Kieferhöhle, wenn sie im Oberkieferseitenzahnbereich angewandt werden [74]. Ursächlich hierfür ist das enthaltene Zinkoxid [74]. Bei verschiedenen Versuchen wurden die verschiedenen Produktgruppen mit humanem und vom Tier stammendem Gewebe in Kontakt gebracht [55, 63, 132]. Alle Sealer verursachten Entzündungsreaktionen und geringfügige Zellschädigungen, wobei diese bei *AH Plus*, den Calciumsalicylaten und den Silikonen in der Regel am geringsten waren [55, 63, 132, 152]. Während bei den meisten Materialien die zellschädigende Wirkung mit der Liegezeit nachließ, war bei den Kompositen eine gegenläufige Entwicklung zu beobachten [43, 71].

Löslichkeit

Ob sich eine Wurzelkanalfüllpaste nach dem Abbinden im umliegenden Gewebe löst, hat zum einen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung und somit auf den Langzeiterfolg einer Wurzelkanalbehandlung [21, 153]. Außerdem können die gelösten Stoffe eine schädigende Wirkung auf das umliegende Gewebe und den Organismus haben [67]. Die Löslichkeit wird in der Regel gemessen am prozentualen Gewichtsverlust eines Stoffes. Nach internationalem Standard (ISO 6876 und ANSI/ADA No. 57) sollte dieser nicht mehr als 3% betragen, um die Dichtigkeit einer Füllung zu garantieren.

Epoxidharze weisen die geringste Löslichkeit auf [13, 32, 91, 117, 128]. Bei verschiedenen Versuchen ergab sich bei einer Liegezeit von bis zu 3 Monaten

in Flüssigkeit kein größerer Verlust an Masse als 0.62%. Silikone und Zinkoxideugenolzemente lagen mit ihren Werten geringfügig darüber [13, 32, 117, 128]. Materialien auf Komposit- oder GLZ-Basis sowie Calciumsilicate wiesen eine deutlich höhere Löslichkeit auf und überschritten die als Grenze geforderten 3% Gewichtsverlust [13]. Komposite schnitten mit einem Gewichtsverlust bis zu 4% dabei mit Abstand am schlechtesten ab [13, 32, 91, 117, 128].

Antibakterielle Eigenschaften

Es ist davon auszugehen, dass selbst nach fachgerechter Aufbereitung und Desinfektion Bakterien im Wurzelkanalsystem verbleiben [142, 156]. Idealerweise sollte ein Wurzelfüllmaterial also antibakterielle Eigenschaften aufweisen und selbst nach Applikation der Füllung keimreduzierend wirken [97, 142]. Da es sich dabei, wie bereits erwähnt, um spezielle Bakterien handelt, welche bei periapikalen Läsionen von wurzelgefüllten Zähnen nachzuweisen sind, sollte hierbei ein besonderes Augenmerk auf die antimikrobiellen Eigenschaften gegen just diese Spezies gerichtet werden [142]. AH 26 weist initial nach Verarbeitung eine antimikrobielle Wirkung auf [68]. Diese ist auf das Formaldehyd zurückzuführen, welches initial beim Abbinden entsteht, und somit ist der Effekt auch nur von kurzer Dauer [75]. Zinkoxideugenole wirken gegen *C. albicans*, *S. mutans*, *A. israelii*, *S. aureus* und *E. faecalis*. Calciumsilicate und Komposite zeigen lediglich Wirkung gegen *E. Faecalis* [66, 68, 101]. Silikonen und Glasionomerzementen konnte keinerlei antimikrobielle Wirkung nachgewiesen werden [66, 68, 101].

Dichtigkeit

Treten bei einer Wurzelkanalfüllung aufgrund nicht ausreichender Dichtigkeit der Füllung Reinfektionen auf, kommt es zur so genannten Leakage [97]. Man

unterscheidet koronale Leakage von apikaler, also ob es zu einem Keimeintritt und der Reinfektion über das apikale Ende der Füllung oder die Kanaleingänge in der Pulpakammer kommt [97].

Die Angaben bezüglich der Leakage von Kompositsealern im Vergleich zu Guttapercha/Epoxidharz-Kombinationen waren kontrovers. Fathia et al. [45] beschrieben eine bessere Dichtigkeit der Kompositsysteme, wohingegen Suchodolski et al. [141] bei den Kompositsealern eine höhere Leakage feststellten. Silva et al. [131] konnten mit ihren Versuchsmethoden keinen Unterschied zwischen den beiden Systemen bezüglich der Dichtigkeit feststellen. Die Versuchsaufbauten der drei Arbeitsgruppen waren vergleichbar.

Bei den Sealern, die mit Guttapercha eingesetzt wurden, schnitten die Epoxidharze und Silikone am besten ab [35, 87, 88]. Calciumsilikate boten ebenfalls akzeptable Ergebnisse, wohingegen Zinkoxideugenolzemente am schlechtesten abschnitten [35, 87]. Die Dichtigkeit aller Materialien schien sich nach 3 Wochen Liegezeit verbessert zu haben. Zu erwähnen ist, dass alle Sealer deutlich bessere Ergebnisse brachten als Guttapercha, welches ohne Wurzelkanalfüllpaste eingebracht und kompaktiert wurde [35, 87, 88].

Adhäsion

Bei Adhäsion handelt es sich um den mechanischen Zusammenhalt zwischen zwei Grenzflächen aufgrund molekularer Wechselwirkungen [22]. Also in unserem Fall der Zusammenhalt zwischen Sealer und Dentin, bzw. Sealer und Guttapercha. Spricht man von dem inneren Zusammenhalt eines Stoffes, also von den Bindungskräften zwischen seinen Molekülen zueinander, so meint man Kohäsion [22]. Angegeben wird diese in Newton, oder flächenunabhängig in Pascal (Newton/m²) [22]. Man gibt also an, ab welcher Kraft oder Kraft pro Fläche es zum Verlust der kohäsiven oder adhäsiven Verbindung kommt. Überschreiten die adhäsiven Fähigkeiten die kohäsiven, so kommt es bei ausreichender Belastung zur Fraktur innerhalb des Sealers.

Für uns relevant ist also, wie bereits erwähnt, die Adhäsion des Sealers zu der

Dentinoberfläche und zu dem Kernmaterial Guttapercha. Da es sich um zwei verschiedene Stoffe mit verschiedenem chemischen Aufbau handelt, unterscheiden sich somit in der Regel auch die Adhäsionskräfte, die die Sealer zu ihnen entwickeln können. Die so genannte Leakage kann also innerhalb der Sealerschicht, zwischen Sealer und Dentin, sowie Sealer und dem Kernmaterial der Füllung, entstehen [151]. Davon ausgehend, dass die adhäsiven Eigenschaften eines Sealers direkt mit seiner Dichtigkeit in Zusammenhang gebracht werden können, untersuchten Ørstavik et al. acht verschiedene Sealer. Sie konnten ihre These jedoch nicht bestätigen [105].

Dennoch ist davon auszugehen, dass ein guter adhäsiver und kohäsiver Verbund durch den Sealer für die Dichtigkeit einer Füllung essentiell ist, da zum Beispiel durch spätere Manipulation, wie etwa durch das Setzen eines Stiftes oder auch bei einer Schrumpfung beim Abbindevorgang eine Spaltbildung entstehen könnte und somit die Dichtigkeit der Wurzelfüllung herabgesetzt würde [25, 36]. Auch hier zeigt sich, dass ein Sealer essentiell für die Integrität einer Wurzelfüllung ist, da sich zwischen Guttapercha und Dentin kein adhäsiver Verbund herstellen lässt [136].

Der adhäsive Verbund wird von der Art der Spülung während und nach der Aufbereitung beeinflusst [61, 100, 102, 103, 130]. Dabei ist der Einfluss der Spülflüssigkeiten auf deren Adhäsion bei verschiedenen Sealern unterschiedlich zu bewerten [61, 90, 102]. Einig scheint sich die Literatur darüber, dass die Entfernung der Smearlayer durch einen Chelator einen positiven Effekt bringt [103]. Dies mag dadurch verursacht sein, dass das Vorhandensein der Smearlayer die Penetrationstiefe des Sealers in die Dentintubuli herabsetzt [78]. Neelakantan et al. beobachteten bei einem Push-out-Versuch einen positiven Effekt durch die Spülung mit EDTA bei nachfolgender Obturation bei *AH 26* [103]. Shokouhinejad et al. stellten ähnliche Untersuchungen an und kamen zu dem Schluss, dass im Punkte Adhäsion die Kombination von EDTA und NaOCl zu den besten Ergebnissen für *AH 26* führt [130].

Da man für die Obtation einer Wurzelkanalfüllung dank der thermoplastischen Eigenschaften von Guttapercha sowohl kalt verarbeitende als auch warm verarbeitende Techniken kennt, ist auch relevant, ob Hitzeapplikation die Adhäsion einer Wurzelkanalfüllpaste verändert. Beltes et al. untersuchten *AH 26* auf seine adhäsiven Eigenschaften zu menschlichem Dentin mit und ohne

Hitzeapplikation und konnten keine Beeinflussung der Adhäsion feststellen [19]. Die Adhäsion verschiedener Sealer fällt je nach Schichtstärke unterschiedlich aus [108]. So scheinen auf Methacrylat basierende Sealer in dünneren Schichtstärken höhere Haftwerte zu erzielen als dicke Schichten des Materials. Epoxidharze scheinen sich genau gegenteilig zu verhalten, so dass hier bei dickeren Schichten höhere Haftwerte resultieren [108, 120].

Lee et al. untersuchten die adhäsiven Eigenschaften zu Dentin und Guttapercha von vier verschiedenen Sealern unter Scherbelastung [82]. Getestet wurden ein Epoxidharz, ein Calciumsilicat und ein Glasionomerzementsealer. Als Vertreter der Epoxidharze wies *AH26* die besten Haftwerte zu Dentin und Guttapercha auf (zu Dentin 2,06 MPa, zu Guttapercha 2,93 Mpa) [82]. Alle anderen Materialien lagen in ihren Haftwerten zu Dentin sowie zu Guttapercha unter 1 Mpa [82].

Die adhäsiven Fähigkeiten von Kompositsystemen wie *RealSeal* zu Dentin sind geringer als die von Epoxidharzen zu Dentin [61]. So kamen Haraqushiku et al. unter Verwendung der Pushout-Methode auf Haftwerte von 3,06 MPa für *Epiphany-Sealer*, 4,77 MPa für *AH Plus* und 1,22 MPa für *Apexit Plus* [61]. Vilanova et al. erreichten Werte von 6,74 MPa von *Epiphany* zu Dentin und 8,74 MPa für *AH Plus*, ebenfalls unter Verwendung des Pushout-Tests [149]. Amin et al. untersuchten die Haftwerte von Sealern zu Dentin von Zähnen, welche zuvor mit einer medikamentösen Einlage aus Calciumhydroxid behandelt wurden, und verglichen diese mit Haftwerten zu unbehandelten Zähnen [15]. Calciumsilicat-Sealer erzielten nach einer Calciumhydroxid-Einlage erhöhte Haftwerte, Epoxidharze und *MTA* schienen sich dagegen davon nicht beeinflussen zu lassen [6]. Barbizam et al. stellten bei ähnlichen Untersuchungen fest, dass sich die Haftwerte von Kompositsealern ebenfalls durch eine vorherige Calciumhydroxid-Einlage steigern ließen [15].

3 Ziel der Studie

In der heutigen Endodontie gibt es eine ganze Bandbreite von verschiedenen Präparaten die als medikamentöse Einlage genutzt werden können.

Bei irreversiblen Pulpitiden besteht ebenfalls die Möglichkeit einer Single-visit-Behandlung mit Verzicht auf eine medikamentöse Einlage.

Somit ist es wichtig genau die Vor- und Nachteile der verschiedenen Präparate untereinander sowie die Vor- und Nachteile des gänzlichen Verzichts auf diese, im Sinne einer Single-visit-Behandlung, gegeneinander abzuwägen.

Ziel dieser *In-vitro*-Studie ist es, den Effekt sechs verschiedener medikamentöser Einlagen auf den Haftverbund von *AH 26* zu evaluieren.

Es ist zu klären, inwiefern verschiedene Zusammensetzungen von Calciumhydroxid, *Ledermix* oder Kombinationspaste aus Calciumhydroxid und CHX-Gel den kohäsiven und adhäsiven Verbund von *AH 26* beeinflussen.

3.1 Arbeitshypothese

Folgende Arbeitshypothesen sollen überprüft werden:

1. Die verschiedenen medikamentösen Einlagen führen zu einem geringeren Haftverbund von *AH 26* im Wurzelkanal im Vergleich zur Kontrollgruppe.
2. Die verschiedenen medikamentösen Einlagen zeigen untereinander signifikante Unterschiede hinsichtlich des Haftverbundes im Wurzelkanal.

4 Material und Methoden

4.1 Flowchart des Versuchsablaufs

Probenvorbereitung

70 einwurzlige Zähne mit geradem Wurzelkanal, getrimmt auf 9 mm Wurzellänge

Maschinelle **Wurzelkanalaufbereitung bis ISO 60** unter Irrigation mit NaOCl

Wurzelkanalspülung: NaOCl 3 ml, EDTA 3 ml, Aqua dest. 3 ml

Experimentelle Gruppen

Randomisierte Verteilung der Probenzähne auf **7 Gruppen** (n=10)

Gruppe 1
AH Temp

Gruppe 2
Ledermix

Gruppe 3
Calxyl

Gruppe 4
Calcicur

Gruppe 5
Ultracal

Gruppe 6
Ultracal +
CHX

Gruppe 7
Keine Med
(Kontrolle)

Medikamentöse Einlagen

Einbringen der medikamentösen Einlagen und Lagerung für 7 Tage (37°C, 100 Luftfeuchte)

Entfernung der medikamentösen Einlagen mittels schallaktivierter Spülung (EndoActivator)

Erneute Wurzelkanalspülung: NaOCl 3 ml, EDTA 3 ml, Aqua dest. 3 ml, Trocknung der Kanäle

Obturation

Einbringen des Sealers AH 26 mittels Lentulo-Spirale und Platzieren des Stahlsreaders

Lagerung der Proben für 7 Tage (37°C, 100 Luftfeuchte) bis zur Aushärtung des Sealers

Haftverbund-Analyse

Analyse des Haftverbundes mittels Pull-out-Verfahren in einer Zwick-Universal-Testmaschine

Anfertigung von **digitalen Mikrofotos der Spreader** zur Analyse des Frakturmodus

Statistische Auswertung

Statistische Auswertung mittels SPSS 21 unter Verwendung nicht-parametrischer Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-Test)

4.2 Die Probenzähne

Für diese Studie wurden 60 einzelne Wurzeln in sechs Gruppen à je 10 Zähne randomisiert aufgeteilt. Die Auswahlkriterien waren ein gerader Verlauf des Wurzelkanals, keine zuvor erfolgte endodontische Behandlung und keine Wurzelkaries.

Die dafür ausgewählten Zähne wurden direkt nach der Extraktion bis zum Ende des Versuchs in 0,5 %iger Chloramin-T-Lösung gelagert. Zunächst wurden sie mit Bürstchen und Scalern (*Hu-Friedy*, Chicago, IL, USA) gereinigt. Konkrement, Granulationsgewebe und Reste des Zahnhalteapparats wurden ebenfalls entfernt. Mithilfe von diamantierten Schleifkörpern und Trennscheiben wurden alle Zähne bis zu dem Boden der Pulpakammer zu den Kanaleingängen gekürzt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die abgeschliffene Fläche einen rechten Winkel zum Wurzelkanalverlauf aufwies, sowie dass Zähne mit zu großem Kanallumen aussortiert wurden, da man nach einer Aufbereitung auf ISO-Größe 60 bei allen Zähnen eine identische Kanaloberfläche erreichen wollte. Überschritt der Kanaldurchmesser die Ausmaße der ISO-Größe 60, wurde die Wurzel wenn möglich von koronal gekürzt, bis die Anatomie den geforderten Maßen entsprach.

Bei Zähnen, die über mehr als eine Wurzel verfügten, wurde die geeignetste ausgewählt und mithilfe einer Trennscheibe vom Restzahn getrennt.

4.3 Aufbereitung der Wurzelkanäle

Die Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte maschinell mit vollrotierenden Nickel-Titan Feilen (*FlexMaster*, VDW, München, Deutschland). Die Kanäle wurden auf 8 mm Arbeitslänge auf ISO 60 mit einer Konizität von 2% erweitert, um den Maßen der Stahl-Spreader zu entsprechen, welche später das Kernmaterial der Wurzelfüllung simulieren werden.

Während der Aufbereitung wurde regelmäßig mit NaOCl 3% gespült.

Danach wurde ein Stahl-Spreader (Dentsply, Konstanz, Deutschland) der

Größe ISO 55 mithilfe eines Gummistoppers bei 8 mm Länge markiert, um die Aufbereitungstiefe zu kontrollieren. Es wurde so ebenfalls sichergestellt, dass der Wurzelkanal gerade verläuft und somit keine Klemmpassung entsteht, welche den Haftverbund erhöhen könnte.

4.4 Das Spülprotokoll

Die Spülung der Wurzelkanäle erfolgte immer nach einem standardisierten Protokoll. Durch die Gleichbehandlung aller Zähne wurde sichergestellt, dass das Ergebnis der Studie nicht durch unterschiedliche Vorbehandlung der Zähne verfälscht wurde.

Es wurden 2 ml Einwegspritzen (*Omnifix, B.Braun, Melsungen, Deutschland*) und gerade Endospülkanülen verwendet (*Transcojet, Neumünster, Deutschland*). Dabei wurde auf eine gleichmäßige Applikation der Flüssigkeit geachtet, wobei 2 ml in etwa 60 Sekunden abgegeben wurden.

Der *EndoActivator* (*Dentsply Maillefer, Balleigues, Schweiz*) wurde unmittelbar nach Einbringen der EDTA-Lösung angewandt, so dass sich noch Flüssigkeit im Kanal befand, welcher aktiviert werden konnte.

Die Trocknung der Kanäle erfolgte zunächst mit KaVo *FineAir* mit angesetzter Kanüle, anschließend mit Papierspitzen.

Tabelle 2 fasst den Ablauf des standardisierten Spülprotokolls zusammen.

Tabelle 2: Eingesetztes Spülprotokoll

	Material/Instrument	Menge / Dauer
1	NaOCl 3%	2 ml
2	Aqua dest.	2 ml
3	EDTA	2 ml
4	<i>EndoActivator</i>	60 s
5	KaVo <i>FineAir</i>	10 s
6	Papierspitzen (ISO 40)	min. 4 Stück

4.5 Die Stahlspreader

Um das Kernmaterial einer Wurzelkanalfüllung zu simulieren, wurden Stahl-Spreader-Rohlinge der ISO-Größe 25 (*Dentsply*, Konstanz, Deutschland) verwendet.

Zunächst wurden die Spreader mithilfe einer Messlehre (*GuttaGauge*, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) und einer Trennscheibe (Omnident, Rodgau, Deutschland) auf ISO-Größe 55 gekürzt. Anschließend wurden die Spitzen mit Hilfe von Sandpapier (SIC-Papier P#220, Struers, Dänemark) abgerundet und somit auf ISO 60 adjustiert.

Kurz vor dem Zementieren wurden die Spreader mit Alkohol 70% entfettet und anschließend silikatisiert (*Rocatec*, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland).

4.6 Die medikamentöse Einlage

In die getrockneten Wurzelkanäle der Gruppe A1-A6 wurden jeweils verschiedene medikamentöse Einlagen eingebracht. Gruppe A0 diente als Kontrollgruppe. Hier wurde direkt nach der Aufbereitung die Abschlussspülung vorgenommen und die definitive Wurzelkanalfüllung eingebracht. Tabelle 3 zeigt Gruppe A1-A6 mit dem jeweiligen Medikament.

Tabelle 3: Die untersuchten experimentellen Gruppen mit Codierungen

Gruppe	Medikament
A1	<i>Ledermix</i>
A2	<i>Calxyl</i>
A3	<i>Calcicur</i>
A4	<i>Ultracal</i>
A5	<i>Ultracal/CHX-Gel</i>
A6	<i>AH Temp</i>

Das Anmischen und die Verarbeitung der einzelnen Materialien erfolgte streng entsprechend der Herstellerangaben. In die nach Spülung sorgfältig getrockne-

ten Kanäle wurde das jeweilige Medikament mithilfe eines Lentulo mit 800 U/min in den Kanal eingebracht, bis das komplette Kanallumen blasenfrei gefüllt war.

Abschließend erfolgte ein temporärer Verschluss des Kanals durch *Cavit* (3M ESPE, Seefeld, Deutschland). Die Zähne wurden in Gazetupfer gewickelt und wieder feucht in 0,5 %iger Chloramin-T-Lösung gelagert.

Die Medikamente blieben exakt 14 Tage im Wurzelkanal. Danach wurde die temporäre Füllung mit einem Scaler (*Hu-Friedy*, Chicago, IL, USA) entfernt, die Einlage durch erneutes Durchführen des Spülprotokolls gründlich herausgespült und anschließend wurden die Kanäle getrocknet. (siehe 4.3).

4.7 Zementieren der Stahlspreader

Sämtliche Spreader wurden mit *AH 26* zementiert. Der Sealer wurde zunächst nach Herstellerangaben im Verhältnis 2-3 Teile Pulver zu 1 Teil Harz auf einer Glasplatte zu einem homogenem Zement angerührt, sodass bei Abheben des Spatels das Material bei ca. 2 cm gebrochen ist.



Abbildung 1: *AH 26*-Sealer mit Flüssigkeits- und Pulverkomponente

Er wurde mit Hilfe einer Lentulo-Spirale (Dentsply Maillefer) bei 800 U/min in die Kavität einbracht, so dass diese komplett gefüllt war. Anschließend wurde der frisch abgestrahlte Spreader ebenfalls mit dem Sealer benetzt. Der Spreader wurde unter leichtem Druck auf volle Aufbereitungslänge in den Kanal eingeführt. Überschüssiger Sealer an Apex und koronalem Kanaleingang wurde mit Schaumstoffpellets entfernt, um die Haftfläche am Dentin nicht zu vergrößern. Es folgten Zahnfilme von allen gefüllten Zähnen, um die Sealerschicht und die Lage des Spreaders zu beurteilen. Danach wurden die Zähne einzeln in mit 0,5%iger Chloramin-T-Lösung getränkte Gazetupfer eingewickelt und voneinander getrennt bis zum Zeitpunkt des Versuchs gelagert, um mechanische Manipulation des Spreaders zu vermeiden.

4.8 Der Pull-out-Versuch

Die Pull-out-Analysen wurden mit einer Zwick-Universalmaschine durchgeführt. Zunächst wurde das Gerät mithilfe von Probenzähnen justiert und die Testparameter wurden festgelegt. Dabei betrug die Vorlaufgeschwindigkeit 10 mm pro Sekunde und reduzierte sich bei Erreichen des ersten Widerstands auf 2 mm pro Sekunde. Ziel des Versuchs war es, die Spreader axial mit Zugkräften zu belasten um eine Dezementierung zu erreichen. Die dabei erforderliche Kraft sollte in Newton (N) gemessen werden. Anschließend folgte eine genauere Untersuchung der Frakturmodi unter dem Lichtmikroskop. Der Versuchsaufbau sah vor, dass die Zähne gegen eine gelochte Metallplatte gezogen werden (Abb. 1 und 2). Das Loch war dabei so groß, dass der Spreader reibungsfrei hindurchpasste, der Zahn jedoch nicht hindurch passte und es somit nach ausreichender Kraftaufwendung zur Dezementierung der Spreader kam. Der bewegliche Teil der Apparatur, welche die eigentliche Kraft aufbrachte und in welche der Spreader eingespannt wurde, war in der horizontalen Ebene frei schwenkbar, sodass sich die Zähne selbst ausrichten konnten und es zu einem rein axialen Kraftanstieg kam. Voraussetzung hierfür war, dass die Zähne so abgeschliffen wurden, dass die Oberfläche einen rechten Winkel zur Spreaderachse aufwies (siehe Kapitel 4.1).

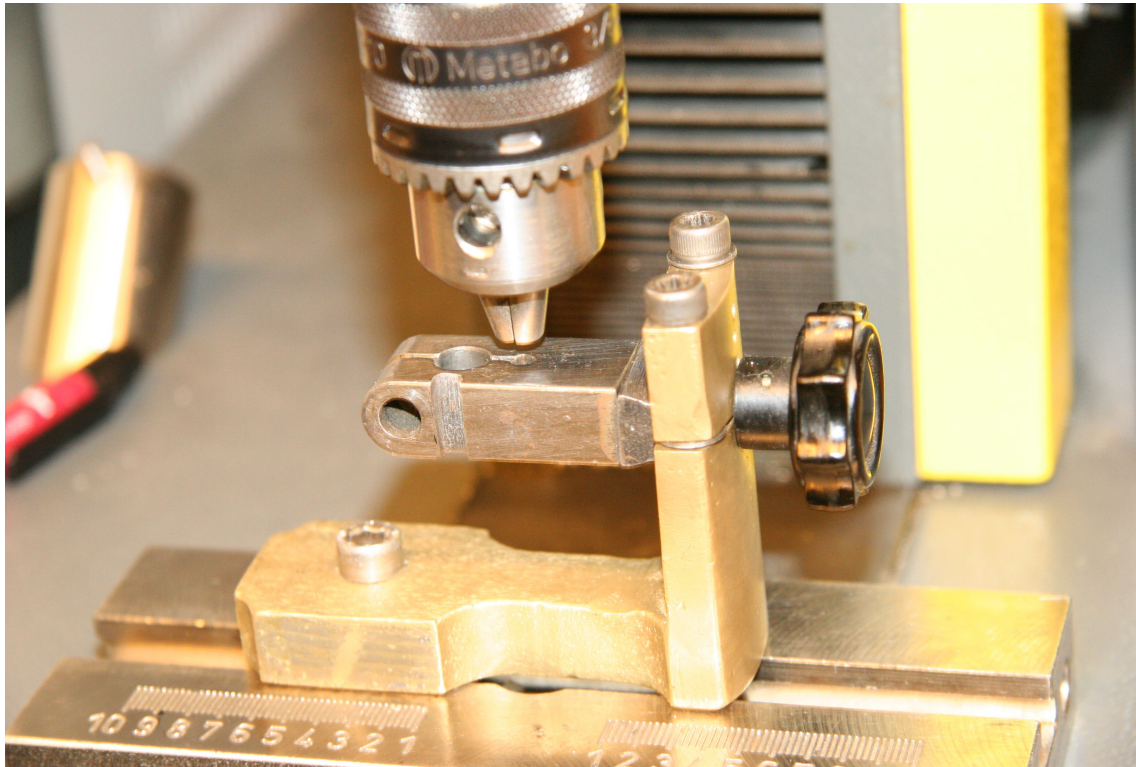


Abbildung 2: Universaltestmaschine mit Einspannvorrichtung und Widerlager

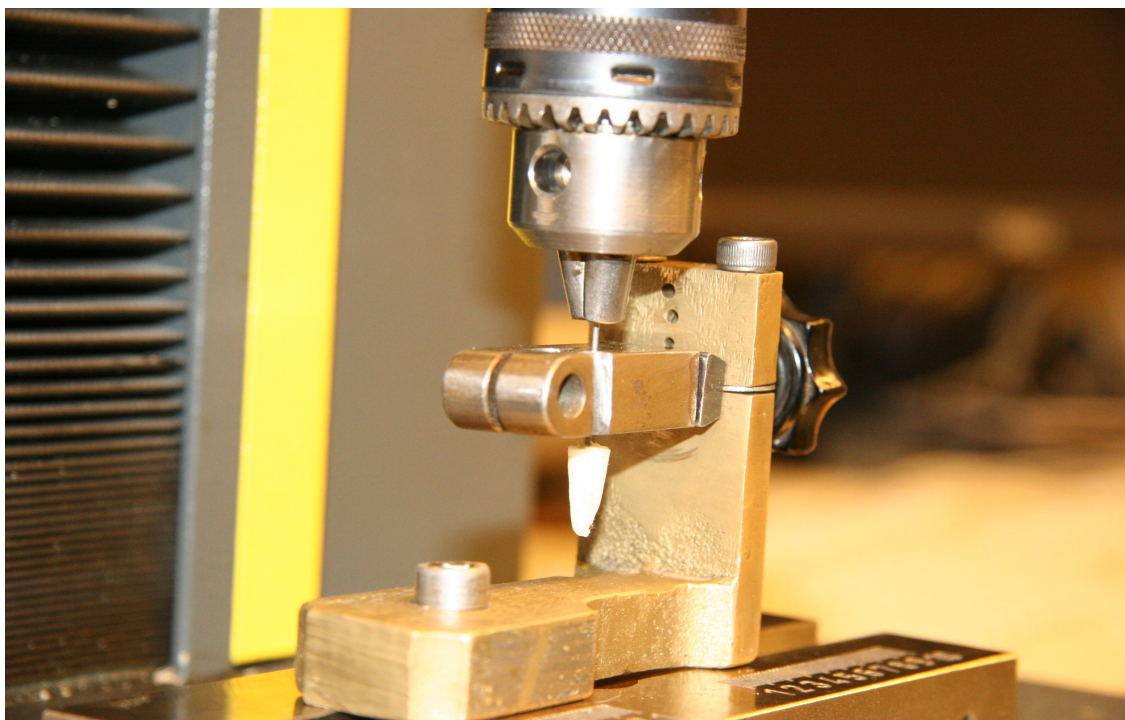


Abbildung 3: In Universaltestmaschine eingespannter Zahn vor Dezementierung.

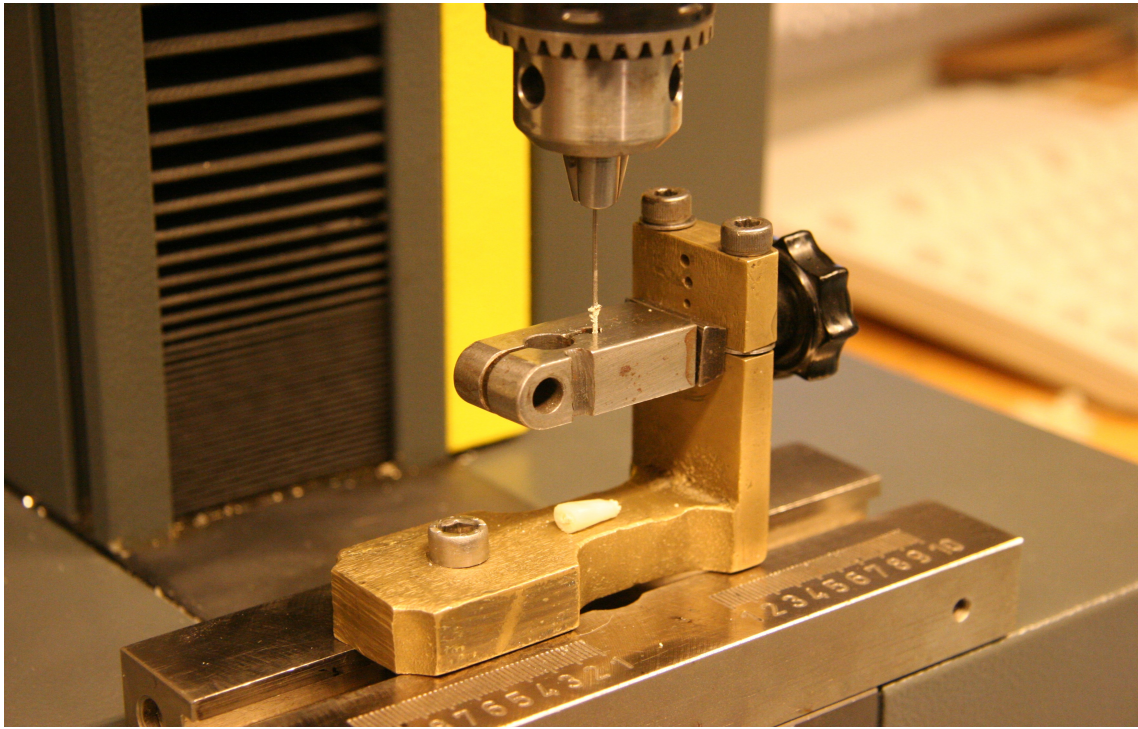


Abbildung 4: In Universaltestmaschine eingespannter Zahn nach Dezementierung

Der an das Gerät angeschlossene Computer zeichnete ein Spannungs-Dehnungsdiagramm ($N/\mu m$) sowie die für die Dezementierung des zementierten Stiftes erforderliche Karft (F_{max}) in Newton auf.

Nachdem der Spreader dezementiert und das Diagramm fertig aufgezeichnet worden war, wurden die Zähne und Spreader wieder miteinander in Gazetupfer eingepackt und wie zuvor gelagert. Es wurde darauf geachtet, dass der Spreader an der zuvor zementierten Fläche nicht berührt wurde, um die später folgende Bestimmung der Frakturmodi nicht zu beeinflussen.

Der Versuch lief reibungslos ab, so dass alle dafür vorgesehenen Zähne wie geplant getestet werden konnten.

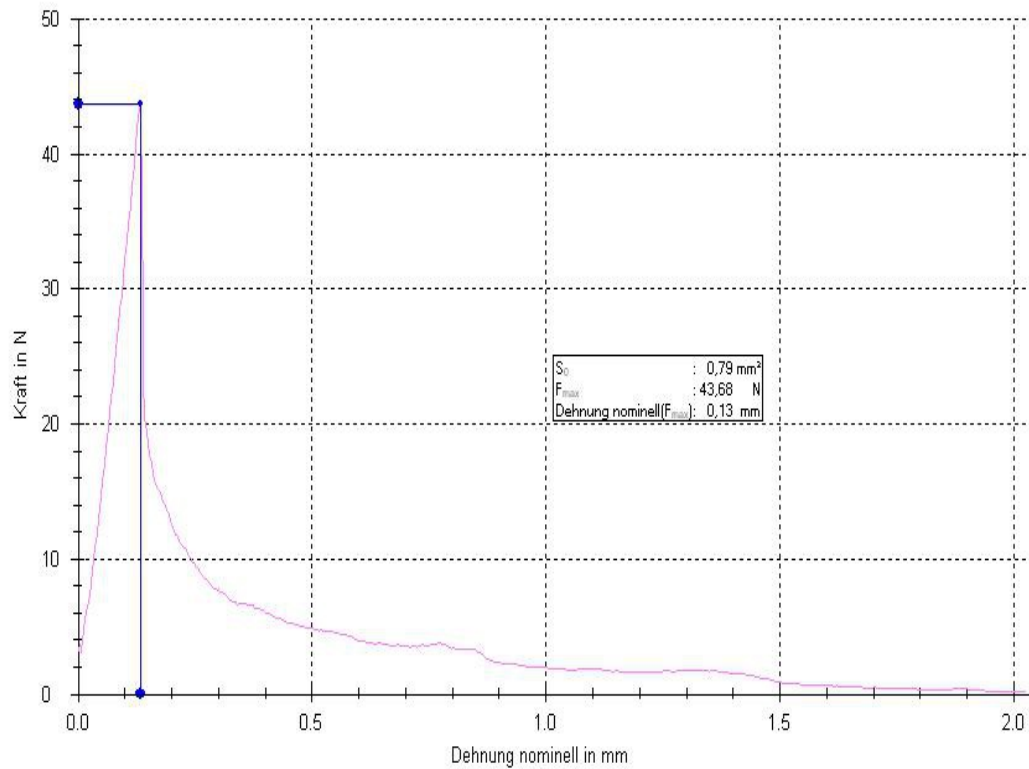


Abbildung 5: Spannungs-Dehnungsdiagramm des Pullout-Versuchs.

4.9 Die statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm G-Power (Universität Düsseldorf) und dem Statistikpaket SPSS 20.0 (SPSS Corp., Chicago, IL, USA) unter der Verwendung der univariaten ANOVA.

4.10 Bestimmung des Frakturmodus

Die Bewertung der Frakturmodi erfolgte an einem Lichtmikroskop mit Photofunktion an der Zahnklinik der Universität Marburg. Die zuvor dezementierten Spreader wurden unter dem Lichtmikroskop von 2 Seiten unter Vergrößerung fotografiert. Später erfolgte die Auswertung des Frakturmodus. Die Bewertung wurde wie folgt vorgenommen:

- Ein vollständig blanker Spreader (keinerlei Sealerbenetzung vorhanden) bedeutete adhäsives Versagen zwischen Sealer und Spreader (AS).
- Ein Spreader, welcher mit einer dünnen, als Sealerschicht erkennbaren Beschichtung von *AH 26* überzogen ist, deutete auf einen kohäsiven Bruch innerhalb des Sealers hin (K).
- Ein Spreader, welcher mit einer dicken Sealerschicht überzogen ist welche in etwa der Wurzelkanalgeometrie entspricht, deutete auf ein adhäsives Versagen zwischen Sealer und Dentin hin (AD).
- Ein Auftreten von mindestens 2 oder gar 3 verschiedenen Frakturmodi stellt eine sogenannte gemischte Fraktur (G) dar. Wenn jedoch ein Frakturmodus stark dominiert, wird dieser der jeweiligen Gruppe zugefügt.

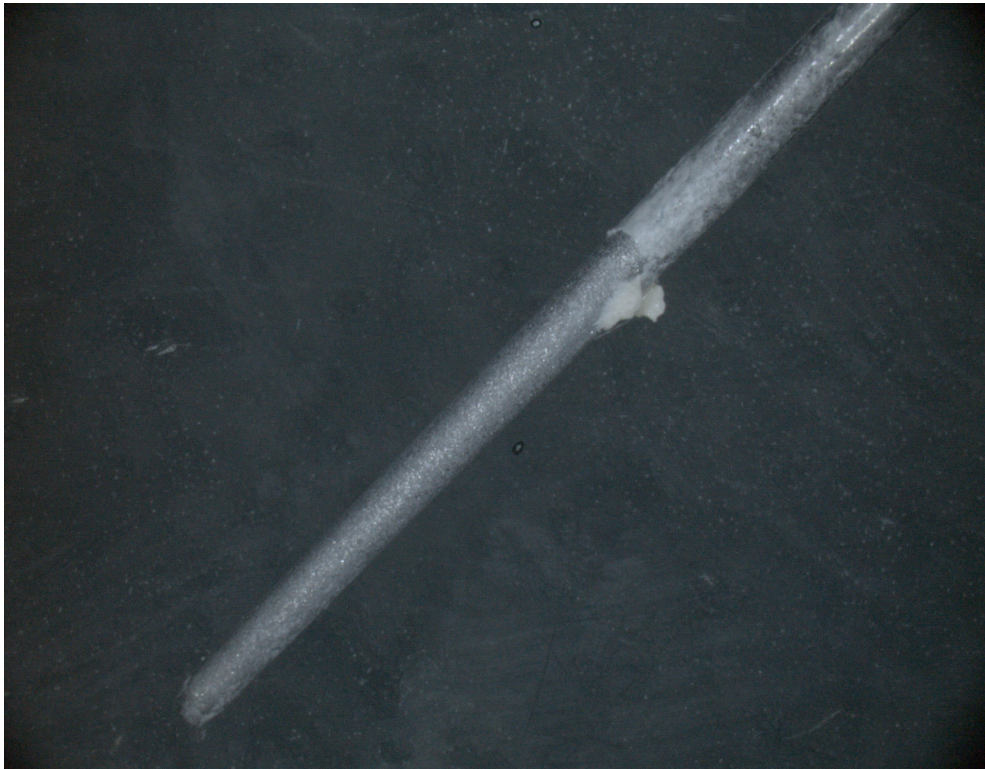


Abbildung 6: Spreader mit adhäsivem Versagen zum Spreader (AS)



Abbildung 7: Spreader mit kohäsiver Fraktur (K)



Abbildung 8: Spreader mit adhäsivem Versagen zum Dentin (AD)

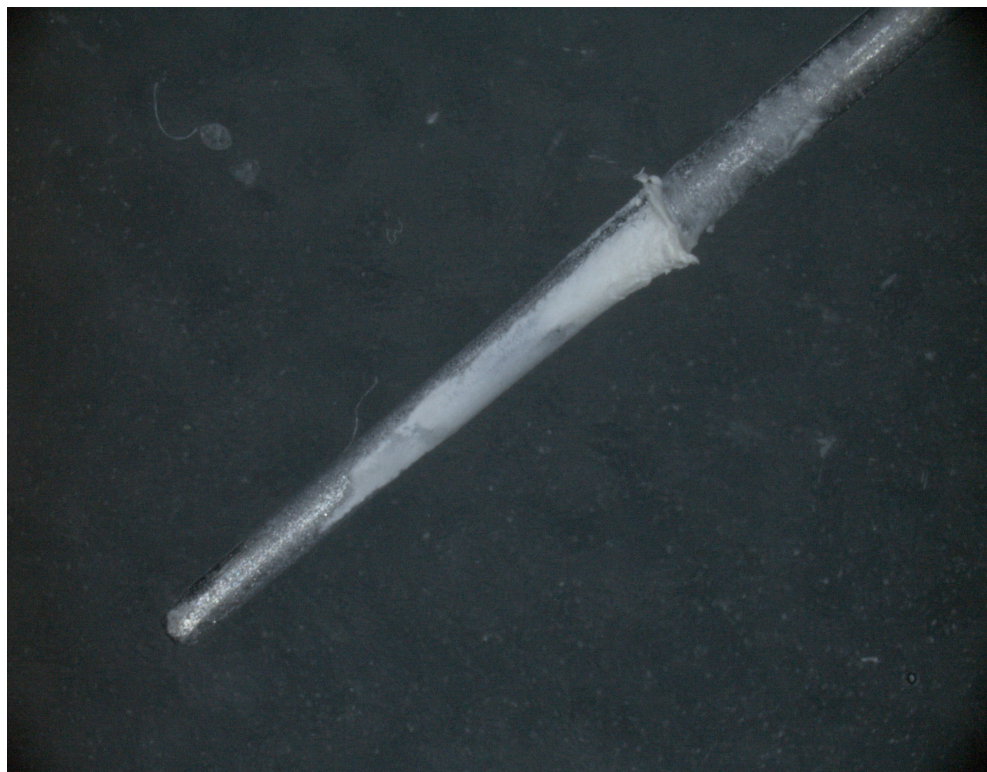


Abbildung 9: Spreader mit gemischtem Frakturmodus (G)

5 Ergebnisse

Insgesamt wurden 70 Zähne aufbereitet und mit *AH 26* Wurzelkanalfüllungen versehen. Davon wurden 60 Zähne in 10er Gruppen eingeteilt und mit je einer von 6 medikamentösen Einlagen versehen.

Die *Calxyl*-Gruppe zeigte mit einem Mittelwert von 5,21 MPa den höchsten Haftverbund. Den geringsten Mittelwert hatte die Kontrollgruppe mit 2,29 MPa, gefolgt von der Ledermixgruppe mit dem Mittelwert von 2,7 MPa.

Tabelle 4 zeigt die dabei entstandenen Messwerte.

5.1 Statistische Auswertung

Parametrische Tests kamen nicht in Frage, da die Werte keine Normalverteilung und keine Mittelwertgleichheit aufwiesen. Als nicht-parametrische Tests wurden daher der Kruskal-Wallis-Test und der Wilcoxon-Tests durchgeführt. Dabei kam es bei Vergleich der Haftwerte der einzelnen Gruppen untereinander beim Vergleich von 3 Paaren zu signifikanten Unterschieden (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,014$. Dabei handelt es sich um folgende Gruppen: **A0** Kontrolle zu **A2** Calxyl, **A0** Kontrolle zu **A4** Ultracal und **A1** Ledermix zu **A2** Calxyl).

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der statistischen Auswertung mittels Kruskal-Wallis-Test und Wilcoxon-Test.

Tabelle 5: Ergebnisse der statistischen Auswertung

	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum	Median	Interquartil- bereich
A0 - Kontroll- gruppe	2,2870	1,67123	0,62	5,31	1,4050	3,04
A1 - <i>Ledermix</i>	2,6980	1,54697	0,88	6,06	2,3800	2,18
A2 - <i>Calxyl</i>	5,2100	2,41925	2,54	11,09	4,7300	2,49
A3 - <i>Calcicur</i>	3,6810	1,51260	2,03	7,24	3,2900	1,98
A4 - <i>Ultracal</i>	4,0010	1,36186	2,07	6,35	4,0250	2,16
A5 - <i>Ultracal/ CHX</i>	3,5220	1,25038	2,01	6,33	3,2100	1,63
A6 - <i>AH Temp</i>	3,9800	1,31777	2,45	6,36	3,7900	1,71

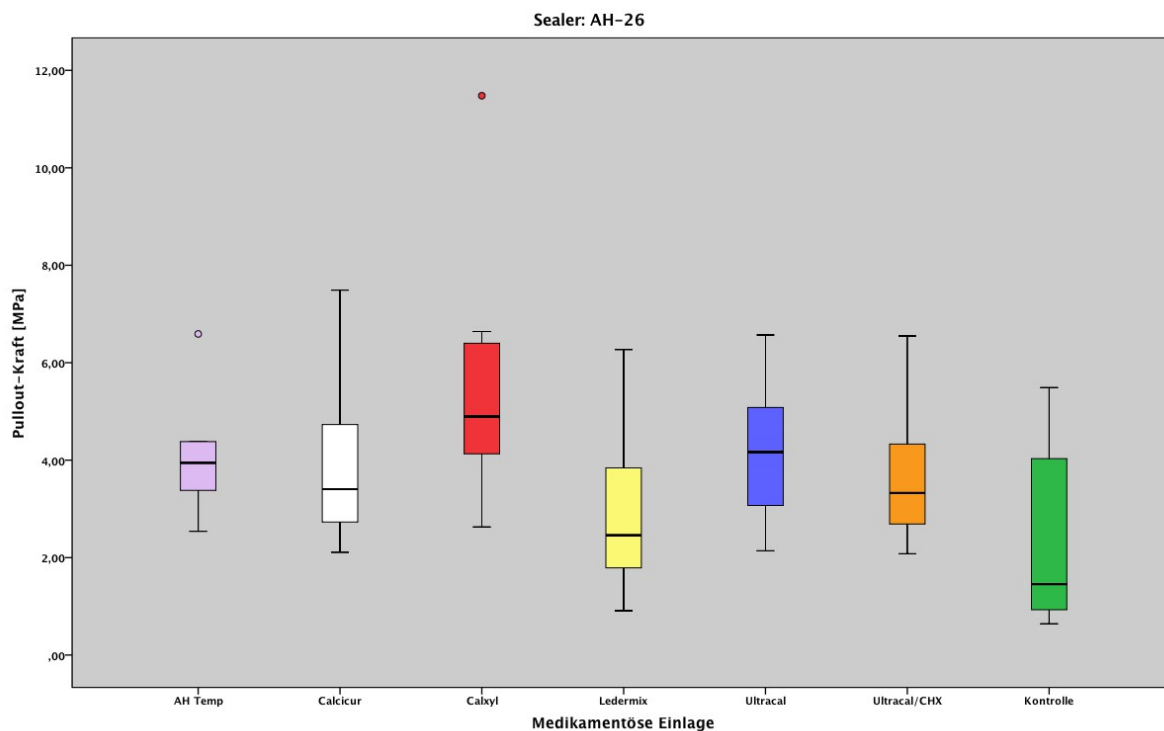


Abbildung 10: Vergleich der mittleren Haftwerte der sieben Versuchsgruppen

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der statistischen Auswertung mittels nicht-parametrischer Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test und Wilcoxon-Test). Signifikante Unterschiede zwischen Gruppen sind mit einem Stern (*) markiert.

Tabelle 6: Ergebnisse der statistischen Auswertung

	A 1 <i>Ledermix</i>	A 2 <i>Calxyl</i>	A 3 <i>Calcicur</i>	A 4 <i>Ultracal</i>	A 5 <i>Ultracal/CHX</i>	A 6 <i>AH Temp</i>
A 0 <i>Kontrolle</i>	0,545	0,007*	0,096	0,034*	0,082	0,073
A 1 <i>Ledermix</i>	---	0,004*	0,112	0,059	0,082	0,065
A 2 <i>Calxyl</i>	---	---	0,082	0,226	0,070	0,193
A 3 <i>Calcicur</i>	---	---	---	0,450	0,762	0,515
A 4 <i>Ultracal</i>	---	---	---	---	0,326	0,914
A 5 <i>Ultracal/CHX</i>	---	---	---	---	---	0,515
A 6 <i>AH Temp</i>	---	---	---	---	---	---

5.2 Auswertung der Frakturmodi

Der dominierende Frakturmodus in fast allen Gruppen war der des adhäsiven Versagens zwischen Sealer und Dentin. Zu einem kompletten Ablösen des Sealers vom Stahlspreader kam es in keinem der Fälle. In Gruppe **A 6** kam es bei einer Mehrzahl der Proben zu einer kohäsiven Fraktur. Tabelle 7 zeigt die prozentuale Verteilung der Frakturmodi innerhalb der Testgruppen, wobei der vorherrschende Frakturmodus der jeweiligen Gruppe grün hinterlegt ist.

Tabelle 7: Prozentuale Verteilung der Frakturmodi innerhalb der Testgruppen.

	A 0	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
AS	0	0	0	0	0	0	0
AD	50	90	60	70	70	50	17
K	10	0	10	30	0	20	50
G	40	10	30	0	30	30	33

6 Diskussion

6.1 Die Probenzähne

Für diese Studie wurden humane Zähne eingesetzt, damit sich die Ergebnisse dieser Studie direkt auf die klinische Situation übertragen lassen.

Die Verwendung von tierischem Zahnsupstrat wird in der Literatur ziemlich uneinheitlich beurteilt. Während Reis et al. (2004) hier keine Unterschiede hinsichtlich des Haftverbunds von Kompositen zu humanem und bovinem Dentin fanden, zeigten sich in anderen Studien sehr deutliche Unterschiede mit signifikant geringerer Haftkraft von Dentinadhäsiven zu bovinem Dentin [50, 123, 69] .

Die extrahierten Zähne stammten randomisiert von Patienten verschiedenen Alters. Somit konnten gewisse altersbedingte Veränderungen des Dentins, wie zum Beispiel Sklerosierung, Tertiärdentinbildung sowie Mikrorisse, nicht ausgeschlossen werden [111]. Das Alter des Patienten und somit des Dentins hat nachgewiesenermaßen einen gewissen Einfluss auf den Haftverbund [138]. Die randomisierte Zuordnung von Zähnen zu verschiedenen experimentellen Gruppen ist ein gängiges Verfahren zum Ausschluss von Beeinflussungen durch solche Faktoren. Eine Alternative wäre einerseits eine Sammlung der Zähne mit Dokumentation des jeweiligen Zahnalters gewesen. Dies hätte allerdings zwei Probleme aufgeworfen. Einerseits sind Zähne von Patienten mittleren Alters oder höher deutlich besser verfügbar, da bedingt durch Parodontitis oder kariesbedingte Extraktionen mit zunehmenden Alter wahrscheinlicher sind. Zudem sind ältere Patienten eher bereit ihre Zähne der Wissenschaft zur Verfügung zu stellen [59]. So wäre möglicherweise eine Polarisierung des Zahnmaterials hin zu älterem Dentin möglich [59]. Die zweite Alternative wäre die histologische Analyse des Zahnalters gewesen. Diese Methode ist zwar möglich, stellt jedoch eine sehr aufwendige Technik dar und ist somit keine Standardmethode. Insofern wurde im Rahmen dieser Studie entschieden die Zähne randomisiert auf die verschiedenen Gruppen zu verteilen, da diese

Methode einerseits am praktikabelsten ist und andererseits eine zufällige Verteilung auch der Realität entspricht, da der eingesetzte Wurzelkanalsealer *AH 26* auch nicht für ein spezifisches Zahnalter angeboten oder gar empfohlen wird.

Des Weiteren wurde der Versuch bewusst an Zähnen ohne Wurzelkaries durchgeführt, um starke Demineralisierungen im Bereich des Wurzelkanals möglichst zu vermeiden. Es wurde nachgewiesen, dass der Mineralisationsgrad von Dentin einen großen Einfluss auf die Haftkraft von Dentin-Bondinsystemen hat [101]. So ist nicht auszuschließen, dass dies ebenfalls auf die Haftkraft von endodontischen Sealern zutrifft, wozu allerdings keine wissenschaftlichen Belege existieren.

Auch wenn die Zähne allesamt frei von Karies im radikulären Bereich waren, ist nicht davon auszugehen, dass der Mineralisationsgrad des Dentins aller Zähne einander entsprach. Durch die randomisierte Verteilung sollte ebenfalls dieser Effekt ausgeglichen werden.

Wurde bei Kürzung der Zähne oder dem Röntgen nach Wurzelfüllung eine größere Weitung festgestellt, welche die Aufbereitungsgröße ISO 60 überschritt, so wurde der Zahn verworfen und durch einen geeigneteren ausgetauscht. Dennoch können kleine räumliche Veränderungen im Kanal verborgen geblieben sein und somit zu einer geringfügig verschieden großen Haftfläche am Dentin geführt haben. Da *AH 26* jedoch durch das enthaltene Kontrastmittel Zirkondioxid röntgenopak ist, ließen sich bei Kontroll-Röntgenaufnahmen nach der Wurzelkanalfüllung zu große Differenzen ausschließen.

Die Lagerung der Zähne erfolgte während der gesamten Studie in 0,5 %iger Chloramin-T-Lösung. Das hatte zum einen den Zweck, dass das Dentin nicht austrocknete und sollte zum anderen ein keimfreies Arbeiten sicherstellen.

Mobarak et al. untersuchten den Haftverbund zu Dentin von frisch extrahierten Zähnen im Vergleich zu den von Zähnen, welche 2 Jahre in 0,5%iger Chloramin-T-Lösung gelagert wurden, und konnten keinerlei signifikante Unterschiede in den Haftwerten ausmachen [93]. Keiner der getesteten Zähne wurde nach Extraktion länger als 6 Monate in Chloramin-T-Lösung gelagert. Daher ist davon auszugehen, dass die Lagerung der Zähne die Haftwerte nicht verfälschte.

6.2 Die Wurzelkanalfüllung

Um das Kernmaterial der Wurzelfüllungen zu simulieren, wurden Stahlspreader der ISO-Größe 55 anstelle der sonst üblichen Guttaperchastifte gewählt. Der Versuchsaufbau sah vor die Wurzelkanalfüllung unter Zugspannung zu setzen. Guttapercha würde die Kraft nicht auf den Sealer übertragen und es käme relativ rasch zu einer Fraktur des Guttaperchastiftes, so dass das tatsächliche Potential, also die effektive Haftkraft, die der Sealer zu erreichen im Stande ist, nicht beurteilt werden könnte. Daher wurden Stahlspreader gewählt, welche der Zugspannung problemlos standhalten können [39].

Die Wurzelkanäle der getesteten Zähne sollten einen möglichst geraden Verlauf aufweisen, da die Füllung mithilfe von starren Stahlspreader durchgeführt wurde. Hiermit wurde zum einen vermieden, dass es zu Klemmpassungen kam, welche zu einer unnatürlichen Erhöhung der Kräfte für die Verbundfestigkeit beim Pull-out-Versuch geführt hätten, sowie dass der Spreader beim Zementieren ohne Kraft auf volle Arbeitslänge gebracht werden konnte.

Die Aufbereitung erfolgte auf ISO 60 mit einer Konizität von 2%. Bei den zementierten Spreadern handelte es sich jedoch lediglich um eine ISO-Größe 55 mit identischer Konizität, die durch apikales Anpassen auf ISO 60 adjustiert wurden.

Es wurde beim Aufbereiten festgestellt, dass die adjustierten Spreader der ISO-Größe 60 nicht immer auf volle Arbeitslänge gebracht werden konnten und es häufig zu einer Art von „Tug-back“ kam. Ursache dafür ist, dass selbst Zähne mit geradem Wurzelverlauf nie einen 100% geraden Kanalverlauf aufweisen. Während sich die Nickel-Titan-Feile des *FlexMaster*-Systems durch ihre Flexibilität dem Kanalverlauf anpasst, lässt sich ein starrer Stahlspreader bereits bei geringen Krümmungen nicht mehr korrekt auf Arbeitslänge einbringen. War ein Erreichen der Arbeitslänge nicht möglich, so wurden diese Zähne, deren minimale Kanalkrümmung röntgenologisch nicht ersichtlich war, gegen neue ausgetauscht.

Aufgrund der Tatsache, dass die Spreader durch die Anpassung auf ISO 60 nur einen minimalen Tug-back aufwiesen, konnte sichergestellt werden, dass die resultierenden Haftwerte nicht durch eine starke Klemmpassung verfälscht werden konnten.

Die Kombination von vollrotierender Aufbereitung der Wurzelkanäle mit der Zentralstifttechnik mit nicht verformbaren identischen Metallstiften sollte für ein immer gleiches räumliches Verhältnis zwischen Spreader und Wurzelkanal sorgen. Dies führte somit auch zu identischen Sealerstärken. Dies war wichtig, da die Schichtstärke des Sealers einen Einfluss auf die Haftkraft hat [108, 122]. Da im Rahmen dieser Studie die reine Adhäsion einer Wurzelkanalfüllpaste zu Dentin gemessen werden sollte, hätte das Auftreten von Friktion die Ergebnisse verfälscht. Jedoch wurde der Pullout-Test wegen seiner Praxisrelevanz gewählt, also so, dass auch Aufbereitung und Applikation der Materialien wie bei einer praxisüblichen Wurzelkanalfüllung durchgeführt werden konnten.

Nachdem die Spreader auf ISO-Größe 55 gekürzt wurden, erfolgte ihre apikale Entgratung. Kurz vor dem Zementieren der Spreader wurden die Sealer zunächst gründlich mit Alkohol gereinigt, um Verunreinigungen der Füllung und Verringerung des Haftverbunds zwischen Sealer und Spreader zu verhindern. Anschließend erfolgte die Oberflächenvergrößerung und Silikatisierung mithilfe des *Rocatec*-Systems. Ziel der Studie war es den Haftverbund von Sealer zu Dentin zu evaluieren. Somit war es wichtig für ideale Haftverhältnisse zu dem Kernmaterial zu sorgen, so dass es bei Belastung des Materials zur kohäsiven Fraktur oder adhäsiven Fraktur zwischen Zahn und Wurzelfüllpaste kommen konnte.

Um eine blasenfreie und gleichmäßige Wurzelkanalfüllung zu erzielen wurde der Sealer mithilfe einer Lentulo-Spirale eingebracht und der frisch abgestrahlte Spreader ebenfalls mit dem Material beschichtet. Nach erfolgter Wurzelkanalfüllung wurden die Zähne geröntgt, um Homogenität der Füllung und Kanal-anatomie erneut zu kontrollieren. Somit ist davon auszugehen, dass der Sealer homogen und blasenfrei appliziert wurde.

Da die Zähne der Gruppen mit medikamentösen Einlagen eine Woche Liegedauer hatten, wurden die Zähne der Kontrollgruppe erst eine Woche später aufbereitet und gemeinsam mit den anderen Zähnen gefüllt, um eine potentielle Beeinflussung der Ergebnisse durch verschiedene Liegedauer auszuschließen.

6.3 Das Spülprotokoll

Die Auswahl der Spülflüssigkeiten hat nicht nur einen großen Einfluss auf die Reinigung und Keimfreiheit des Wurzelkanalsystems, es beeinflusst auch die Adhäsion verschiedener Sealer zum Dentin [121]. Wie in der Literaturübersicht beschrieben, scheinen verschiedene Spülprotokolle auf verschiedene endodontische Sealer im Punkt Adhäsion einen anderen Effekt auszuüben [81]. Da jedoch nur *AH 26* untersucht wurde und alle Zähne identisch behandelt wurden, war dies irrelevant. EDTA wurde wegen seiner Eigenschaften für die Entfernung des Smearlayer gewählt, NaOCl aufgrund seiner gewebelösenden Wirkung [28, 119, 125]. Daebi handelt es sich um eine heutzutage übliche Kombination, welche von der DGZMK als sinnvoll erachtet wird [16].

Gespült wurde mit identischem Protokoll zweimal. Zum einen vor der Applikation der medikamentösen Einlage, zum anderen nach der Entfernung dieser und vor der Applikation der Wurzelkanalfüllung. Die Spülung sollte zum einen das Dentin von sämtlichen Gewebe und Zellresten befreien, so dass die medikamentöse Einlage möglichst gut einwirken konnte. Zum anderen sollte sie diese später möglichst gründlich wieder entfernen, so dass möglichst keine Reste der medikamentösen Einlage den Haftverbund des Sealers zum Dentin in irgendeiner Art beeinflussen konnten. Die Aktivierung des EDTA durch den *EndoActivator* sollte den Reinigungsvorgang des Kanalsystems unterstützen [73].

Zu erwähnen ist, dass die Kontrollgruppe, in der keine medikamentöse Einlage zum Einsatz kam, nur einmal nach Aufbereitung und somit vor Applikation der Wurzelfüllung mit dem Spülprotokoll behandelt wurde. Es ist fraglich, ob sich hierdurch eine signifikante Beeinflussung des Ergebnisses ergeben konnte. Theoretisch wäre denkbar, dass, bedingt durch das nur einmal erfolgte Spülprotokoll in der Kontrollgruppe, die Auswirkungen der Spüllösung aufgrund der geringeren Kontaktzeit auch einen geringeren Effekt hatten. Da jedoch auch in der Praxis durch das Weglassen einer medikamentösen Einlage im Sinne einer Single-visit-Behandlung auch keine weitere Spülung erfolgt, entspräche dies dem praktisch üblichen Vorgehen.

6.4 Die Testverfahren

Ziel des Versuchs war es die Füllungen so zu belasten, dass ein Verlust des adhäsiven oder kohäsiven Verbunds resultiert. Hierfür gibt es verschiedene mögliche Versuchsaufbauten:

Der Pushout-Versuch

Bei dem Pushout-Versuch, auch als Ausstoß-Versuch bezeichnet, wird die gefüllte Wurzel in mehrere Scheiben geschnitten, wobei die Schnitte im rechten Winkel zum Verlauf der Wurzelkanalfüllung erfolgen [102]. Die nun so entstehenden Schnitte werden dann am Zahnteil fixiert, und der zentrale gefüllte Teil wird durch einen Stempel belastet, bis es zum Füllungsverlust kommt [102]. Der Vorteil dieser Methode ist, dass damit der Verbund in jedem Teil des Kanals untersucht werden kann, man also die Adhäsion im koronalen, mittleren und apikalen Teil des Wurzelkanals messen kann [145]. Als kritisch ist der Schnitt selbst anzusehen, da eine mögliche thermische oder mechanische Beeinflussung des Materials nicht auszuschließen ist, so dass die Haftwerte verfälscht werden könnten. Der Pushout-Test wird aktuell für eine Vielzahl von Haftverbundanalysen eingesetzt [8]. Allerdings sind einige Fragen offen, die hinsichtlich ihrer Relevanz noch nicht ausreichend beantwortet worden sind und somit einen erheblichen Einfluss auf den Haftverbund besitzen können. Hierzu zählt insbesondere das Verhältnis Stößeldurchmesser zu Füllungsdurchmesser, der Einfluss der Schichtdicke des Schnittes auf den Haftverbund sowie der Einfluss des Elastizitätsmoduls auf den Haftverbund [33].

Der klassische Scher- / Zugversuch

Hierbei handelt es sich um eine grundlegende Methode um den Haftverbund zwischen zwei Materialien ungeachtet ihrer praktischen Anwendung zu testen.

Es wird beispielsweise eine plangeschliffene Dentinfläche mit einem Zylinder des Materials versehen, welches analysiert werden soll [31]. Die beiden Materialien werden entweder so belastet, dass es zu einer Parallelverschiebung der beiden planen Oberflächen kommt, also zur Belastung mit Scherkräften, oder je nach Versuchsziel, mit Zugkräften, so dass eine direkte Trennung der Flächen erfolgt. Aus werkstoffkundlicher Sicht liefert diese Methode gute Ergebnisse, jedoch berücksichtigt sie nicht alle Aspekte der praktischen Anwendung. Es wird weder die Anwendung des Materials berücksichtigt, also etwa dass ein Sealer zuerst in den Kanal eingebracht werden muss, noch die geometrischen und mikroskopischen Eigenschaften eines aufbereiteten Wurzelkanals.

Das Microtensile-Testverfahren

Das Microtensile-Testverfahren wurde für Materialien mit sehr hohem adhäsiven Verbund entworfen, also insbesondere Füllungsmaterialien mit hoher Festigkeit und einem adhäsiven Verbund zur Zahnhartsubstanz, also Schmelz oder Dentin.

Der Einsatz zur Analyse des Haftverbunds von Wurzelkanalsealern zum Wurzelkanaldentin ist aufgrund der geringen Materialfestigkeit der entstehenden Stäbchen nicht ohne weiteres möglich, weshalb dieses Verfahren hier bislang kaum zum Einsatz kam [8]. Um dennoch das Adhäsionpotential solcher Materialien zu testen, wird eine glatte, geklebte Fläche erzeugt [33]. Nun wird diese so beschliffen, dass eine Sanduhrform entsteht, wobei der schmalste Teil der ist, an der die Grenzfläche zwischen den beiden Materialien verläuft [33]. Von Vorteil ist hierbei, dass man aus einer Dentinprobe mehrere Tests gewinnen kann, da die Klebefläche minimal gehalten wird, sowie dass auch sehr kleine Flächen spezifisch getestet werden können, wobei als besonderer Vorteil gilt, dass auch verschiedene Regionen oder Tiefen in Zähnen hinsichtlich ihres Haftverbunds analysiert werden können [33].

Dennoch birgt es die Nachteile des klassischen Scher-/Zugversuchs in sich, nämlich dass es sich um glatte Flächen handelt und nicht um ein komplexes Wurzelkanalsystem [33]. Somit stellt dieses Testverfahren eine praxisfernere

Methode dar, die zudem aufgrund der Beschaffenheit von Wurzelkanalfüllungen aus Sealer und Guttapercha wenig für die Analyse des Haftverbunds im Wurzelkanal geeignet ist.

Problematisch ist zudem, entsprechende Stäbchen aus den verschiedenen Ebenen des Wurzelkanals zu gewinnen, da die Länge der resultierenden Stäbchen, insbesondere im apikalen Wurzelbereich, nicht ausreichend wäre [33].

Der Pullout-Versuch

Der Pullout-Versuch sieht vor, dass ein im Material eingebetteter Stift unter Zugbelastung bis zur Materialfraktur herausgezogen wird [39]. Im vorliegenden Fall entspricht dies demnach der Dezementierung des Stahlspreaders aus der Wurzel [39]. Solche Belastungen mit entsprechenden koronalwärts gerichteten extrusiven Kräften wirken beispielsweise bei der Präparation eines Stiftkanals auf die Wurzelkanalfüllung.

Der Vorteil dieser Testmethode für die verlangten Zwecke ist, dass das Material sehr praxisorientiert verarbeitet werden kann und es zu keiner Manipulation des Materials, wie etwa bei einem Pushout-Versuch durch die Anfertigung von Sägeschnitten, kommt. Somit erfolgt die Probenherstellung gewissermaßen nichtinvasiv, da nach der Instrumentierung des Wurzelkanals sowie der Wurzelkanalfüllung kein weiterer Schritt erforderlich ist um eine Probe zu gewinnen. Die Pullout-Analyse erfolgt somit ohne einen möglicherweise beeinflussenden Zwischenschritt direkt nach Aushärtung der Wurzelkanalfüllung.

Die Integrität der Wurzelkanalfüllung wird also bis zum eigentlichen Versuch gewahrt, weil kein weiterer möglicher Einflussfaktor auf die Probe einwirkt. Jedoch werden alle Bereiche des Wurzelkanals gleichzeitig getestet, so dass bei den Ergebnissen nicht zwischen den einzelnen Abschnitten des Kanals differenziert werden kann. Ein sogenanntes Mapping, wie dies im Falle des Microtensile-Test möglich ist, ist also ausgeschlossen, wenn der gesamte Wurzelkanal hinsichtlich des Haftverbunds untersucht wird.

Da es in der vorliegenden Studie um die Adhäsion des Sealers zum Wurzel-dentin ging, konnten Stahlspreader als Kernmaterial eingesetzt werden, welche

notwendig waren, um die axialen Kräfte auf die Füllung zu übertragen. Ziel war also, durch geeignete Vorbehandlung der Spreaderoberfläche den Haftverbund zu dem Sealer so zu stärken, dass es zum kohäsiven Versagen innerhalb des Sealers oder zum adhäsiven Versagen zwischen Sealer und Dentin kam.

Der Pullout-Test wurde also letztendlich gewählt, weil er eine praxisnahe Verarbeitung der Materialien zuließ, das getestete Dentin in makroskopischer und mikroskopischer Struktur sich entsprach und es zu keiner Manipulation des Haftverbunds durch Sägeschnitte oder Fräsen kam, wie es bei dem Microtensile- oder Pushout-Versuch der Fall ist. Die Applikation von Spülflüssigkeiten und medikamentösen Einlagen, das Aufbereiten der Kanäle sowie das Einbringen des Sealers entsprachen somit dem Vorgehen bei einer praxisüblichen Wurzelkanalbehandlung und berücksichtigten somit diese möglichen Einflüsse auf den Ausgang des Versuchs.

Die Zuggeschwindigkeit während des Versuchs und somit auch die Vorlaufgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit, mit der der Spreader gezogen wurde, bis der Zahn gegen den Widerstand stieß und somit die Extrusionskraft anstieg, wurde mit 2 mm/min sehr gering gewählt, so dass keine abrupten Bewegungen entstanden und somit von einem Kraftaufbau wie bei statischen Bedingungen auszugehen ist [39].

Um die Werte der einzelnen Zähne untereinander vergleichen zu können war auch wichtig, dass die Zugkraft immer genau identisch und axial verlief. Bei dem Einspannen wurde genau auf die Ausrichtung der Zähne geachtet, die durch den Versuchsaufbau - jeder Zahn wurde so getrimmt, dass die Zugrichtung des Spreaders in Längsachse ohne ein Verkanten erfolgen konnte - automatisch garantiert wurde. Der Teil, in dem die Spreader eingeschraubt waren, war in der Horizontalen frei schwenkbar. So ließ sich der Zahn von Beginn an so ausrichten, dass der Verlauf des entstehenden Kraftvektors genau identisch mit dem Verlauf des Stahlspreaders im Wurzelkanal war. Da die Zahnoberfläche so beschliffen wurde, dass ein rechter Winkel zu dem Spreader entstand, wurde eine achsgerechte Extrusion sichergestellt. Daher ist davon auszugehen, dass die Kraftwirkung auf die Füllung bei allen Zähnen identisch war.

6.5 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Auswertung der Frakturmodi stellte sich heraus, dass es überwiegend zu einem adhäsiven Versagen zwischen Sealer und Dentin kam. Gelegentlich war dies kombiniert mit einer kohäsiven Fraktur im Sealer. Adhäsives Versagen zum Stahlspreader trat selten und nur in Kombination mit kohäsiven Versagen oder adhäsiven Versagen zu Dentin auf.

Da es bei diesem Versuch darum ging den Haftverbund von Sealern zu Wurzelkanaldentin zu testen, kann man somit davon ausgehen, dass die Ergebnisse die gewünschte Aussagekraft haben. Wäre es überwiegend zu einem adhäsiven Versagen zwischen Sealer und Spreader gekommen, müsste man davon ausgehen, dass die erzielten Haftwerte unter den eigentlichen Haftwerten lägen und somit nicht verwertbar wären.

Die Kontrollgruppe zeigte die niedrigsten Haftwerte. Somit bewirkte die Applikation der getesteten medikamentösen Einlagen eine Erhöhung der Haftwerte.

Die niedrigsten Durchschnittswerte nach der Kontrollgruppe erzielten die Zähne der *Ledermix*-Gruppe. Dabei lag der Durchschnittswert der *Ledermix*-Gruppe mit 0,41 MPa nur leicht über dem von Zähnen in der Kontrollgruppe. Es ist allerdings fraglich, ob es sich wirklich um einen steigernden Effekt durch *Ledermix* handelte, oder ob die höheren Werte durch die damit verbundene erneute Durchführung des Spülprotokolls entstanden. Wie in der Literaturübersicht erwähnt, fanden Shokouhinejad et al. heraus, dass die Spülung mit NaOCl und EDTA eine Steigerung der Haftwerte bewirkt [130]. Da bei der Kontrollgruppe im Vergleich zur *Ledermix*-Gruppe nur einmal das Spülprotokoll zur Anwendung kam, ist dies ein möglicher Einflussfaktor, der jedoch auch so in der Praxis auftreten würde. Natürlich sind auch alle Calciumhydroxid-Gruppen somit von diesem potentiell adhäsionssteigernden Effekt betroffen, da auch hier nach und vor Applikation der medikamentösen Einlage das Spülprotokoll durchgeführt wurde. Falls *Ledermix* selbst eine steigernde Wirkung auf die Adhäsion hätte, wäre diese recht gering.

Sämtliche der mit auf Calciumhydroxid basierenden Medikamente behandelten Zähne erzielten höhere Haftwerte als die Zähne der *Ledermix*-Gruppe. Daraus

lässt sich schließen, dass sich Calciumhydroxid im allgemeinen positiv auf die Haftkraft von *AH 26* auswirkt. Ebenfalls für diese positive Wirkung von Calciumhydroxid spricht, dass die Gruppe der Kombipaste, welche aus CHX-Gel und *Ultracal* besteht, etwas niedrigere Haftwerte aufweist als die *Ultracal*-Gruppe. Folglich könnte daraus geschlossen werden, dass es sich hier einfach um eine geringere Konzentration von *CalciCur* handelt und somit Calciumhydroxid.

Unter den verschiedenen Calciumhydroxid-Einlagen lieferte die des *Calxyl* die mit Abstand höchsten Werte mit 2,92 MPa über der Kontrollgruppe. Da es sich dabei um das einzige Material handelt, welches vor der Applikation frisch anmischt wird, ist fraglich, ob sich dies positiv auf die Menge der freiwerdenden Hydroxylionen oder den pH-Wert auswirkt, und ob sich hiermit die adhäsionssteigernde Wirkung erklären ließe.

Da die Angaben über den pH-Wert und die genauen Mengenangaben der Inhaltstoffe der Calciumhydroxid-Präparate selbst nach Nachfrage nicht von allen Herstellern angegeben werden, ist somit kein direkter Zusammenhang zwischen der Menge des enthaltenen Calciumhydroxids und der Adhäsion bzw dem pH-Wert und der Adhäsion nachvollziehbar.

6.6 Prüfung der Arbeitshypothesen

1. Die verschiedenen medikamentösen Einlagen führen zu einem geringeren Haftverbund von *AH 26* im Wurzelkanal im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Die Kontrollgruppe erreichte die mit Abstand niedrigsten Haftwerte. Somit führte die Behandlung der Wurzelkanäle mit einer medikamentösen Einlage in allen Fällen zur Steigerung des Haftverbundes zwischen *AH 26* und dem Dentin.

2. Die verschiedenen medikamentösen Einlagen zeigen untereinander signifikante Unterschiede hinsichtlich des Haftverbundes im Wurzelkanal.

Diese Hypothese wird **angenommen**.

Die einzigen medikamentösen Gruppen mit signifikant unterschiedlichen Ergebnisse zueinander waren **A1** Ledermix zu **A2** Calxyl.

7 Literaturverzeichnis

1. **Abbott PV, Hume WR, Pearman JW.**
Antibiotics and endodontics.
Aust Dent J 1990; 35: 50-60.
2. **Abbott PV.**
Systemic release of corticosteroids following intra-dental use.
Int Endod J 1992; 25: 189-191.
3. **Abbott PV.**
Aids to success in endodontics Part 1. A review of the literature.
Aust Dent J 1990; 35: 438.
4. **Abou-Rass M, Piccinino M.**
The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982; 54.
5. **Albert Gossauer.**
Struktur und Reaktivität der Biomoleküle.
Verlag Helvetica Chimica Acta, Zürich
6. **Amin SA, Seyam RS, El-Samman MA.**
The effect of prior calcium hydroxide intracanal placement on the bond strength of two calcium silicate-based and an epoxy resin-based endodontic sealer.
J Endod 2012; 38:696-699.
7. **Aricola CR, Dagna A, Florindi F, Chiesa M, Saino E, Imbriani M, Visai L, Poggio C.**
Photoactivated disinfection (PAD) in endodontics: a in vitro microbiological evaluation.
Int J Artif Organs 2011; 34: 889-897.
8. **Armstrong S, Geraldeli S, Maia R, Raposo LH, Soares CJ**
Adhesion to tooth structure: a critical review of „micro“ bond strenght test methods.
Dent Mater. 2010 Feb; 26: 50-62.
9. **Asgary S, Eghbal MJ.**
The effect of pulpotomy using a Calcium-enriched mixture cement versus one-visit root canal therapy on postoperative pain relief in irreversible pulpitis: a randomized clinical trial.
Odontology 2010; 98: 126-133.

10. **Athanassiadis B, Abbott PV, George N, Walsh LJ.**
An in vitro study of the antimicrobial activity of some endodontic medicaments against *Enterococcus faecalis* biofilms.
Aust Dent J 2010; 55:150-155.
11. **Athanassiadis B, Abbott PV, George N, Walsh LJ.**
An in vitro study of the antimicrobial activity of some endodontic medicaments and their bases using an agar well diffusion assay.
Aust Dent J 2009; 54: 141-146.
12. **Atila-Pektaş B, Yurdakul P, Gülmez D, Görduysus O.**
Antimicrobial effects of root canal medicaments against *Enterococcus faecalis* and *Streptococcus mutans*.
Int Endod J 2013; 46: 413-418.
13. **Azadi N, Fallahdoost A, Mehrvarzfar P, Rakhshan H, Rakhshan V.**
A four-week solubility assessment of AH-26 and four new root canal sealers.
Dent Res J (Isfahan) 2012; 9: 31–35.
14. **Bago I, Plecko V, Abric Panduric D, Schauperl Z, Barbarra A., Anic I.**
Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment.
Int Endod J 2012; 27.
15. **Barbizam JV, Trope M, Teixeira EC, Tanomaru-Filho M, Teixeira FB.** Effect of calcium hydroxide intracanal dressing on the bond strength of a resin-based endodontic sealer. Braz Dent J 2008;19:224-227.
16. **Barthel C, Georgi M, Schäfer E, Peschelt A, Flachhsenberg S, Neupert T, Kockapan , Weiger R, Hülsmann M.**
Stellungnahme der AG Endodontologie und Traumatologie der Dgz. Version 1.0
17. **Basrani B.**
Irrigation in endodontic treatment.
Alpha Omegan 2011; 104: 18-25.
18. **Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A.**
Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate.
J Endod 2007; 33: 966-969.

19. **Beltes P, Keki P, Kodonas K, Gogos C, Economides N.**
Effect of heat application on adhesion of epoxy resin sealer.
J Endod 2008; 34: 1378-1380.
20. **Bender IB , Seltzer S.**
The advantages and disadvantages of the use of antibiotics in endodontics.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1954; 7: 993-997.
21. **Bergmans L, Moisiadis P, De Munck J, Van Meerbeek B, Lambrechts P.**
Effect of polymerization shrinkage on the sealing capacity of resin fillers for endodontic use.
J Adhes Dent 2005; 7: 321-329.
22. **Bischof C, Possart W.**
Adhäsion – Theoretische und experimentelle Grundlagen.
Akademie-Verlag, Berlin 1983.
23. **Blank-Gonçalves LM, Nabeshima CK, Martins GH, Machado ME.**
Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots. conventional irrigation versus activation systems.
J Endodont 2011; 37: 1268-1271.
24. **Botton G, Pires CW, Cadoná FC, Machado AK, Azzolin VF, Cruz IB, Sagrillo MR, Praetzel JR.**
Toxicity of irrigating solutions and pharmacological associations used in pulpectomy of primary teeth.
Int Endod J. 2015.
25. **Branstetter J, von Fraunhofer JA.**
The physical properties and sealing action of endodontic sealer cements: a review of literature.
J Endod 1982; 8: 312-6.
26. **Bratel J, Jontell M, Dahlgren U, Bergenholtz G.**
Effects of root canal sealers on immunocompetent cells in vitro and in vivo
Endod J 1998; 31: 178-188.
27. **Byström A, Claesson R, Sundqvist G**
The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals.
Endod Dent Traumatol 1985; 1: 170.

28. **Byström A, Sundqvist G.**
The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy.
Int Endod J. 1985; 18, 35.
29. **Calt S, Serper A.**
Time-dependent effects of EDTA on dentin structures.
J Endod 2002; 28: 17-19.
30. **Cameron JA.**
The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study.
J Endod 1983; 9: 289-292.
31. **ardoso PE, Braga RR, Carrilho MR.**
Evaluation of micro-tensile, shear and tensile tests determining the bond strenght of three adhesive systems.
Dent Mater. 1998. 14(6): 394-8.
32. **Carvalho-Junior JR, Correr-Sobrinho L, Correr AB, Sinhoreti MA, Consani S, Sousa-Neto MD.**
Solubility and dimensional change after setting of root canal sealers: a proposal for smaller dimensions of test samples.
J Endod 2007; 33: 1110-1116.
33. **Chen WP, Chen YY, Huang SH, Lin CP.**
Limitations of push-out test in bond strenght measurement.
J Endod. 2013 Feb; 39: 283-7.
34. **Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM.**
Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. J Dent 2003; 31: 275-281.
35. **Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH.**
A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers.
Int Endod J 2002; 35: 979-984.
36. Dentsply DeTrey: AH Plus Root Canal Sealer – Scientific Compendium (2005), Download von <http://www.dentsply.de/docs/index.aspx> am 18.06.2010.
37. **Do Prado M, Simão RA, Gomes BP.**
Evaluation of different irrigation protocols concerning the formation of chemical smear layer.
Microsc Res Tech. 2013 Feb; 76: 196-200.

38. **Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE.**
Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer.
J Endod 1994; 20: 78-82.
39. **Ebert J, Leyer A, Günther O, Lohbauer U, Petschelt A, Frankenberger R, Roggendorf MJ.**
Bond strenght of adhesive cements to root canal dentin tested with a novel pull-out approach.
J Endod. 2011; 37: 1558-61.
40. **Ehrmann EH, Messer HH, Adams GG.**
The relationship of intracanal medicaments to postoperative pain in endodontics.
Int Endod J 2003; 36: 868-875.
41. Eintrag zur Cas-Nummer 1305-62-0 in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 15. November 2012
42. **Ercan E, Ozekinci T, Atakul F, Gul K.**
Antibacterial activity of 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite in infected root canal in vivo study.
J Endod 2004; 30: 84-87.
43. **Ersahan S, Aydin C.**
Solubility and apical sealing characteristics of a new calcium silicate-based root canal sealer in comparison to calcium hydroxide-, methacrylate resin- and epoxy resin-based sealer.
Acta Odontol Scand 2013; 71: 857-862.
44. **Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D.**
Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calciumhydroxide.
Int Endod J 2002; 35: 221-228.
45. **Fathia E, Hassan Abu-Bakr N, Yahia I.**
A comparative study of the microleakage of Resilon/Epiphany and gutta-percha/AH-Plus obturating systems.
Iran Endod J 2012; 7: 139-143.
46. **Ferguson JW, Hatton JF, Gillespie MJ.**
Effectiveness of intracanal irrigants and medications against the yeast *Candida albicans*.
J Endod 2002; 28: 68-71.
47. **Figini L, Lodi G, Gorni F, Gagliani M.**
Single versus multiple visits for endodontic treatment of permanent teeth.
Cochrane Database Syst Rev 2007 Oct 17;(4):CD005296.

48. **Forster K H, Kulid JC, Weller RN.**
Effect of smear layer removal on the diffusion of calcium hydroxide through radicular dentin.
J Endod 1993; 19: 136.
49. **Friedman CM, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW.**
Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points.
J Dent Res 1975; 54: 921-925.
50. **Galhano G, de Melo RM, Valandro LF, Bottino MA.**
Comparison of resin push-out strength to root dentin of bovine- and human-teeth.
Indian J Dent Res 2009; 20: 332-336.
51. **Gasic J, Popovic J, Zivković S, Petrovic A, Barac R, Nikolic M.**
Ultrastructural analysis of the root canal walls after simultaneous irrigation of different sodium hypochlorite concentration and 0.2% chlorhexidine gluconate.
Microsc Res Tech 2012; 75: 1099-1103.
52. **Gatewood RS.**
Endodontic materials.
Dent Clin North Am. 2007; 51: 695-712
53. **Glaser S.**
Guttapercha. In: Historische Kunststoffe im Germanischen Nationalmuseum
Germanisches Nationalmuseum
54. **Goldberg F.**
Relation between corroded silver points and endodontic failures.
J Endod 1981; 7: 224-227
55. **Grecca FS, Kopper PM, Santos RB, Fossati AC, Carrard VC, Acasigua GA, Figueiredo JA.**
Biocompatibility of RealSeal, its primer and AH Plus implanted in subcutaneous connective tissue of rats.
J Appl Oral Sci 2011; 19: 52-56.
56. **Grossman LI.**
Physical properties of root canal cements.
J Endod 1976; 2: 166-175.
57. **Grossman LI.**
Irrigation of root canals.
J Am Dent Assoc 1943; 30: 1915-1917.

58. **Gurney B, Best E, Gervasio G.**
Physical measurements on guttapercha.
Oral Surg 1971; 32: 260-270.
59. **Gupta P, Kaur H, Shankari G S M, Jawanda MK, Sahi N.**
Human age estimation from tooth cementum and dentin.
J Clin Diagn Res. 2014; 8.
60. **Hachez AM, Bogaerts P, Van Nieuwenhuysen JP.**
Comparison of calcium hydroxide and chlorhexidine as
intracanal medications in endodontics: review of the literature.
Rev Belge Med Dent 2005; 60: 345-363.
61. **Haragushiku GA, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT, Alfredo
E, Silva SC, Silva RG.**
Adhesion of endodontic sealers to human root dentine
submitted to different surface treatments.
Photomed Laser Surg. 2010; 28: 405-410.
62. **Harrison W, Hand R.**
The effect of dilution and organic matter on the antibacterial
property of 5,25% sodium hypochlorite.
J Endod 1981; 7: 128-132.
63. **Huang FM, Chou MY, Chang YC.**
Cytotoxicity of resin-, zinc oxide-eugenol-, and calcium
hydroxide-based root canal sealers on human periodontal
ligament cells.
J Endod 2002 Feb; 35: 153-158.
64. **Hülsmann M.**
Die Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften.
Endodontie 1995; 4: 49-62.
65. **Jiang LM, Lak B, Eijssvogels LM, Wesselink P, van der Sluis
LW.**
Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation
techniques.
J Endod. 2012; 38: 838-841.
66. **Kaiwar A, Nadig G, Hgde J, Lekha S.**
Assessment of antimicrobial activity of endodontic sealers on
enterococcus faecalis: An in vitro study.
World J Dent 2012; 3: 26-31.
67. **Kaplan AE, Goldberg F, Artaza LP, de Silvio A, Macchi RL.**
Disintegration of endodontic cements in water.
J Endod 1997; 23: 439-441.

68. **Kaplan AE, Picca M, Gonzalez MI, Macchi RL, Molgatini SL.**
Antimicrobial effect of six endodontic sealers: an in vitro evaluation.
Endod Dent Traumatol 1999; 15: 42-45.
69. **Kaplan AE, Ubios AM, Beigelis AA.**
Suitability of different substrates for reliable bond strength tests.
Acta Odontol Latinoam. 1996; 9: 3-12.
70. **Kaplowitz G.**
Evaluation of the ability of essential oils to dissolve gutta-percha.
J Endod 1991; 17: 448-449.
71. **Karapınar-Kazandağ M, Bayrak OF, Yalvaç ME, Ersev H, Tanalp J, Sahin F, Bayirli G.**
Cytotoxicity of 5 endodontic sealers on L929 cell line and human dental pulp cells.
Int Endod J 2011; 44: 626-634.
72. **Kazemi R, Kamran S, Spångberg L.**
Dimensional changes of endodontic sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1993; 76: 766-771.
73. **Khaleel HY, Al-Ashaw AJ, Yang Y, Pang AH, Ma JZ.**
Quantitative comparison of calcium hydroxide removal by EndoActivator, ultrasonic and ProTaper file agitation techniques: an in vitro study.
J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci. 2013; 33: 142-5.
74. **Kobayashi A.**
Asymptomatic aspergillosis of the maxillary sinus associated with foreign body of endodontic origin – report of a case.
Int J Oral Maxillofac Surg 1995; 24: 243.
75. **Koch J, Wünstel E, Stein G.**
Formaldehyde release from ground root canal sealer in vitro.
J Endod 2001; 27: 396-397.
76. **Koçkapan C.**
Curriculum Endodontie,
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2003.
77. **Kontakiotis E, Nakou M, Georgopoulou M.**
In vitro study of the indirect action of calcium hydroxide on the anaerobic flora of root canal.
Int Endod J. 1995; 28: 285-289.

78. **Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukis A.**
Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study.
Endod Dent Traumatol 1998; 14:191-195.
79. **Kovac J, Kovac D.**
Effect of irrigation solutions in endodontic therapy.
Bratisl Lek Listy. 2011; 112: 410-415.
80. **Langeland K, Langeland LK, Anderson DM.**
Corticosteroids in dentistry.
Int Dent J 1977;27: 217-251.
81. **Leal F, Simão RA, Fidel SR, Fidel RA, do Prado M.**
Effect of final irrigation protocols on push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer to dentin.
Aust Endod J. 2015.
82. **Lee KW, Williams MC, Camps JJ, Pashley DH.**
Adhesion of endodontic sealers to dentin and gutta-percha. J Endod 2002; 28: 684-688.
83. **Ledermix Datenblatt**
Abgerufen am 9.11.2015
<http://www.pharmazie.com/graphic/A/56/0-12356.pdf>
84. **Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G.**
Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study.
Int Endod J. 2012; 45: 942-949.
85. **Leow N, Abbott P, Castro Salgado J, Firth L.**
Evaluation of smear layer removal by bicarbonate soda, ethylenediamine tetraacetic acid with cetrimide and sodium hypochlorite with a new model.
Aust Endod J 2012; 38: 107-112.
86. **Leung SF, Gulabivala K.**
An in-vitro evaluation of the influence of temperature of plasticization on the sealing ability of Thermafil.
Int Endod J 1994; 27: 39–44.
87. **Limkangwalmongkol S, Abbott PV, Sandler AB.**
Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning.
J Endod 1992;18: 535-539.

88. **Limkangwalmongkol S, Burtcher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM.**
A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha.
J Endod 1991; 17: 495-499.
89. **Lin S, Levin L, Peled M, Weiss EI, Fuss Z.**
Reduction of viable bacteria in dentinal tubules treated with clindamycin or tetracycline.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2003; 96: 751-756.
90. **Marending M, Zehnder M.**
Beeinflussung der mechanischen Dentineigenschaften durch die chemische Wurzelkanalaufbereitung.
Endodontie 2007; 16: 333-346.
91. **McMichen FR, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K.**
A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers.
Int Endod J 2003; 36: 629-635.
92. **Messer H H, Chen RS.**
The duration and effectiveness of root canal medicaments.
J Endod 1984; 10: 240-245.
93. **Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH, Jamjoom H.**
Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. J Prosthet Dent 2010; 104: 92-97.
94. **Mohammadi Z.**
Sodium hypochlorite in endodontics: an update review.
Int Dent J. 2008; 58.
95. **Mohammadi Z, Shalavi S.** Is chlorhexidine an ideal vehicle for calcium hydroxide? A microbiologic review. Iran Endod J 2012; 7: 115-122.
96. **Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H, Bhandi S, Patil S.**
Genotoxicity of Endodontic Materials: A Critical Review.
J Contemp Dent Pract. 2015; 16: 692-6.
97. **Moor R, Hommez G.**
The importance of apical and coronal leakage in the success or failure of endodontic treatment.
Rev Belge Med Dent 1984.

98. **Naenni N, Thoma K, Zehnder M.**
Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants.
J Endod 2004; 30: 785-787.
99. **Naito T.**
Single or multiple visits for endodontic treatment?
Evid Based Dent 2008; 9: 24.
100. **Nassar M, Awawdeh L, Jamleh A, Sadr A, Tagami J.**
Adhesion of Epiphany self-etch sealer to dentin treated with intracanal irrigating solutions.
J Endod 2011; 37: 228-230.
101. **Nawal RR, Parande M, Sehgal R, Naik A, Rao NR.**
A comparative evaluation of antimicrobial efficacy and flow properties for Epiphany, Guttaflow and AH-Plus sealer.
Int Endod J 2011; 44: 307-313.
102. **Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV, De-Deus G, Zehnder M.**
The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer.
Int Endod J 2011; 44: 491-498.
103. **Neelakantan P, Varughese AA, Sharma S, Subbarao CV, Zehnder M, De-Deus G.**
Continuous chelation irrigation improves the adhesion of epoxy resin-based root canal sealer to root dentine.
Int Endod J 2012; 45 :1097-1102.
104. **Okino LA, Siqueira EL, Santos M, Bombana AC, Figueiredo JA.**
Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel.
Int Endod J 2004; 37: 38-41.
105. **Ørstavik D, Eriksen HM, Beyer-Olsen EM.**
Adhesive properties and leakage of root canal sealers in vitro.
Int Endod J 1983; 16: 59-63.
106. **Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE.**
Dimensional change following setting of root canal sealer materials.
Dent Mater 2001; 17: 512-519.
107. **Öztürk B, Özer F.**
Effect of NaOCl on bond strength of bonding to pulp chamber lateral walls.
J Endod 2004; 30: 362-365.

108. **Pane ES, Palamara JE, Messer HH.**
Behavior of resin-based endodontic sealer cements in thin and thick films.
Dent Mater 2012; 28: 150-159.
109. **Pang NS, Jung IY, Bae KS, Baek SH, Lee WC, Kum KY.**
Effects of short-term chemical disinfection of gutta-percha cones: identification of affected microbes and alterations in surface texture and physical properties.
J Endod 2007; 33: 594-598.
110. **Pascon E, Spångberg L.**
In vitro cytotoxicity of root canal filling material Gutta-Percha.
J Endod 1990; 16: 429-433.
111. **Perdigao J, Swift EJ, Jr.Denehy GE, Wefel JS, Donly KJ.**
In vitro bond strengths and SEM evaluation of dentin bonding systems to different dentin substrates.
J Dent Res 1994; 73: 44-55.
112. **Perdigão J.**
Effect of substrate age and adhesive composition on dentin bonding.
Oper Dent. 2013; 38: 267-274.
113. **Peters LB, Wesselink PR, Buijs JF, van Winkelhoff AJ.**
Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. J
J Endod 2001 ;27 :76-81.
114. **Pierce A, Lindskog S.**
The effect of an antibiotic/corticosteroid paste on inflammatory root resorption in vivo.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1987; 64: 216-220.
115. **Pierre Fauchard**
Le chirurgien dentiste (1728)
116. **Pinheiro ET, Gomes BP, Ferraz CC, Sousa EL, Teixeira FB,Souza-Filho FJ.**
Microorganisms from canals of root-filled teeth with periapical lesions.
Int Endod J 2003; 36: 1-11.
117. **Poggio C, Arciola CR, Dagna A, Colombo M, Bianchi S, Visai L.**
Solubility of root canal sealers: a comparative study.
L. Int J Artif Organs 2010; 33: 676-681.

118. **Portnier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M.**
The susceptibility of starved, stationary phase and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments.
J Endod 2005; 31: 380-386.
119. **Poudyal S, Wei-Hong P.**
Effect of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) gel on removing smear layer of root canal in vitro.
Chin Med Sci J 2012; 27: 190-191.
120. **Prabhakar AR, Hadakar SG, Raju OS.**
Comparative evaluation of pH and antibacterial effect of various calciumhydroxide combinations on *E. faecalis* and its effect on root strength: An in vitro study. Contemp Clin Dent 2012; 3: 42-47.
121. **Prado M, Simão RA, Gomes BP.**
Effect of different irrigation protocols on resin sealer bond strength to dentin.
J Endod. 2013; 39: 689-92.
122. **Rahimi M, Jainan A, Parashos P, Messer HH.**
Bonding of resin-based sealers to root dentin.
J Endod 2009; 35: 121-124.
123. **Reis AF, Giannini M, Kavaguchi A, Soares CJ, Line SR.**
Comparison of microtensile bond strength to enamel and dentin of human, bovine, and porcine teeth.
J Adhes Dent 2004; 6: 117-121.
124. **Rosenthal S, Spångberg L, Safavi K.**
Chlorhexidine substantivity in root canal dentin.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2004; 98: 488-492.
125. **Rossi-Fedele G, Doğramaci EJ, Guastalli AR, Steier L.**
Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid.
J Endod. 2012; 38: 426-431.
126. **Saleh AA, Ettman WM.**
Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentin.
J Dent 1999; 27: 43-46.
127. **Sathorn C, Parashos P, Messer HH.**
Effectiveness of single-versus multiple-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis.
Int Endod J 2005; 38: 347-355.

128. **Schäfer E, Zandbiglari T.**
Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva.
Int Endod J 2003; 36: 660-669.
129. **Seltzer S, Bender IB, Kaufman IJ.**
Root canal dressings. Their usefulness in endodontic therapy reconsidered.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1961; 14: 603-610.
130. **Shokouhinejad N, Sharifian MR, Jafari M, Sabeti MA.**
Push-out bond strength of Resilon/Epiphany self-etch and gutta-percha/AH26 after different irrigation protocols.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2010; 110: 88-92.
131. **Silva G, da Silva EJ, da Silva JM, Andrade-Júnior CV, Randi Ferraz CC.**
Sealing ability promoted by three different endodontic sealers.
Iran Endod J 2011; 6: 86-89.
132. **Silveira CM, Pinto SC, Zedebski Rde A, Santos FA, Pilatti GL.**
Biocompatibility of four root canal sealers: a histopathological evaluation in rat subcutaneous connective tissue.
Braz Dent J 2011; 22: 21-27.
133. **Siqueira JF Jr, Lopes HP.**
Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review.
Int Endod J 1999; 32: 361-369.
134. **Siqueira JF Jr, Magalhães KM, Rôças IN.**
Bacterial reduction in infected root canals treated with 2.5% NaOCl as an irrigant and calciumhydroxide/ camphorated paramonochlorophenol paste as an intracanal dressing.
J Endod 2007; 33: 667-672.
135. **Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G.**
The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing.
Int Endod J 1991; 24: 119-125.
136. **Skinner R, Himel V.**
The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without sealer.
J Endod 1987; 13: 315-317.

137. **Snjaric D, Carija Z, Braut A, Halaji A, Kovacevic M, Kuis D.**
Irrigation of human prepared root canal--ex vivo based
computational fluid dynamics analysis.
Croat Med J 2012 Oct; 53: 470-479.
138. **Soekanto A, Kasugai S, Mataki S, Ohya K, Ogura H.**
Toxicity of camphorated phenol and camphorated
parachlorophenol in dental pulp cell culture.
J Endod 1996; 22: 284-289.
139. **Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M.**
Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant,
QmiX.
Int Endod J. 2012; 45: 363-371.
140. **Steward G, Cobe H, Rappaport H.**
A study of a new medicament in the chemomechanical
preparation of infected root canals.
J Am Dent Assoc 1961; 63: 33.
141. **Suchodolski L, Piatowska D.**
Assessment of the sealing ability of some root canal sealers
applied using lateral condensation and single point techniques.
Ann Acad Med Stetin 2010; 56 :81-86.
142. **Sundquist G, Figdor DS, Sjörgen U.**
Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment
and the outcome of conservative retreatment.
Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radio and Endod 1998;
85: 86-93.
143. **Tagger M, Katz A, Tamse A.**
Apical seal using the GPII method in straight canals compared
with lateral condensation, with or without sealer.
Org Surg Oral Med Oral Pathol 1994; 78: 225-231.
144. **Tamse A, Unger U, Metzger Z, Rosenberg M.**
Gutta-percha solvents - A comparative study.
J Endod 1986; 12: 337-339.
145. **Üstün Y, Arslan S, Aslan T.**
Effects of calcium hydroxide and propolis intracanal
medicaments on bond strength of resin-based endodontic
sealer as assessed by push-out test.
Dent Mater J. 2013; 32: 913-9.
146. **Valois CR, Silva LP, Azevedo RB.**
Effects of 2% chlorhexidine and 5.25% sodium hypochlorite on
gutta-percha cones studied by atomic force microscopy.
Int Endod J 2005; 38: 425-429.

147. **van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR.**
Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature.
Int Endod J 2007; 40: 415-426.
148. **Varoni E, Tarce M, Lodi G, Carrassi A.**
Chlorhexidine (CHX) in dentistry: State of the art.
Minerva Stomatol 2012; 61: 399-419.
149. **Vilanova WV, Carvalho-Junior JR, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa TC.**
Effect of intracanal irrigants on the bond strength of epoxy resin-based and methacrylate resin-based sealers to root canal walls. Int
Endod J 2012; 45:42-48.
150. **Weiger R, Manncke B, Löst C.**
Antibakterielle Wirkung von Guttaperchastiften auf verschiedene endodontopathogene Mikroorganismen.
Dtsch Zahnarztl Z 1993; 48: 658-660.
151. **Wennberg A, Ørstavik D.**
Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha.
Int Endod J 1990;23:13-199.
152. **Willershausen I, Callaway A, Briseño B, Willershausen B.**
In vitro analysis of the cytotoxicity and the antimicrobial effect of four endodontic sealers.
Head Face Med 2011; 7: 15.
153. **Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR.**
Leakage of four root canal sealers at different thickness.
Int Endod J 1994; 27: 304-308.
154. **Wu MK, Wesselink PR.**
Efficacy of three techniques cleaning the apical portion of curved root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1995; 79: 492-496.
155. **Zarei M, Afkhami F, Malek Poor Z.**
Fracture resistance of human root dentin exposed to calcium hydroxide intervisit medication at various time periods: an in vitro study. Dent Traumatol 2012; 29: 156-160.
156. **Zhang R, Chen M, Lu Y, Guo X, Qiao F, Wu L.**
Antibacterial and residual antimicrobial activities against Enterococcus faecalis biofilm: A comparison between EDTA, chlorhexidine, cetrimide, MTAD and Qmix.
Sci Rep. 2015; 5: 12944.

8 Zusammenfassung

Hintergrund und Ziele

Bei Wurzelkanalbehandlungen gibt es mehrere verschiedene Präparate, welche als medikamentöse Einlage zwischen Sitzungen in Frage kommen. In manchen Fällen ist es ebenfalls möglich, auf diese komplett zu verzichten und den Kanal in der ersten Sitzung abzufüllen. Aus Zeitgründen oder weil die Bedingungen für eine definitive Wurzelkanalfüllung nicht gegeben sind, kann jedoch die Notwendigkeit zum Einbringen einer medikamentösen Einlage bestehen.

Da Medikamente als temporäre Wurzelkanaleinlage über einen längeren Zeitraum im direkten Kontakt zum Dentin kommen, ist es gut möglich, dass sie die spätere Adhäsion zwischen Sealer und Dentin beeinflussen können.

Ziel dieser Studie ist es den Effekt verschiedener medikamentöser Einlagen auf die Adhäsion von *AH 26* zu Dentin mittels Pullout-Versuch zu evaluieren.

Methoden

Für die Studie wurden 70 humane Zähne mit geradem Wurzelverlauf und ohne endodontische Vorbehandlung gewählt. Die Zähne wurden alle bis zu ihrem Wurzelkanaleingang gekürzt, auf 8 mm Arbeitslänge mit ISO 60 maschinell aufbereitet und anschließend randomisiert in 7 Gruppen à 10 Wurzeln verteilt. In 6 der Gruppen kam jeweils ein Medikament als Zwischeneinlage zum Einsatz. Nach einer Woche wurde diese wieder entfernt und es wurde ein Stahlspreader (ISO 55) mit *AH 26* zementiert, um die Wurzelfüllung zu simulieren. Eine Gruppe diente zur Kontrolle und wurde nach der Aufbereitung und Spülung sofort mit der Wurzelfüllung versehen. Während der Aufbereitung wurde mit NaOCl gespült, vor Applikation und zur Entfernung der medikamentösen Einlagen wurden immer mit identischem Spülprotokoll alle Zähne behandelt. Die 6 Testgruppen mit Medikament waren (Gruppe / Medikamentöse Einlage): A1 : *Ledermix*, A2 : *Calxyl*, A3 : *Calcicur*, A4 : *Ultracal*, A5 : *Ultracal/Chlorhexamed*, A6 : *AH-Temp*. Getestet wurde die Scherfestigkeit mithilfe des Pullout-Tests. Anschließend erfolgte eine Analyse der Stahlspreader

unter dem Lichtmikroskop um herauszufinden wo es zur Fraktur oder zu Adhäsionsverlust kam.

Ergebnisse

Die mit *Calxyl* behandelten Wurzeln (Gruppe A2, Mittelwert 5,21 MPa) erzielten signifikant höhere Haftwerte wie die Kontrollgruppe (Gruppe A0, Mittelwert 2,20 MPa, $p=0,007$) sowie signifikant höhere Haftwerte wie die *Ledermix*-Gruppe (Gruppe A1, Mittelwert 2,7 MPa, $p = 0,004$). Die *Ultracal*-Gruppe (A4, Mittelwert 4 Mpa) wies ebenfalls signifikant höhere Werte zu den unbehandelten Wurzeln der Kontrollgruppe auf ($p=0,034$). Ansonsten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Im Allgemeinen lagen die Mittelwerte aller Gruppen die mit einem Medikament auf Kalziumhydroxid-Basis behandelt wurden über denen der *Ledermix*- oder Kontrollgruppe. Den höchsten Mittelwert erzielte die *Calxyl*-Gruppe. Die Auswertung der Frakturmodi ergab, dass es bei allen Gruppen überwiegend zu adhäsivem Versagen zwischen Sealer und Dentin sowie gelegentlich kohäsivem Versagen innerhalb des Sealers kam.

Praktische Schlussfolgerung

Wurzelkanäle, welche mit einer medikamentösen Einlage auf Kalziumhydroxid-Basis behandelt wurden, erzielten später höhere Haftwerte zu *AH 26*, und können somit unter Umständen den Langzeiterfolg einer endodontischen Behandlung verbessern. Besonders hervorzuheben ist *Calxyl*, welches als einziges Präparat signifikant höhere Haftwerte im Vergleich zu den unbehandelten und mit *Ledermix* behandelten Wurzelkanälen erzielte.

8.1 Summary

In endodontic treatment there are numerous compounds available to serve as temporary intracanal dressings. In some cases it can even be considered to finish the root canal filling within one session and therefore no use of root canal dressings at all. Out of reasons of time or that the requirements for a definite root canal filling are not given, the exigency of applying an intracanal dressing may occur. As these compounds are in contact to dentine for a longer period of time, they might affect the bond strength between dentine and root canal sealer.

The aim of this study was to evaluate a potential impact caused by the use of any intracanal dressing on the bonding ability of *AH 26* by using a pull-out testing procedure.

Methods

For the present study 70 human teeth with straight root canals and with no previous endodontic treatment were selected. Specimens were all shortened to the entry of the root canal, the root canals were instrumented to ISO 60 on a depth of 8 mm and afterwards randomly divided into 7 groups with 10 roots each. One control group and 6 groups with different intra-canal dressings. The dressings remained inside the canal for 7 days, afterwards they were obturated with *AH 26* and an experimental steel spreaders simulated the core material of the filling. For the control group the root canal filling was placed directly after the chemomechanical instrumentation of the root canal. During obturation all teeth were rinsed with NaOCl. Prior to application of the root canal dressings and after their removal the canals were flushed with an determined irrigation protocol. The 6 experimental groups were exhibited with the following intra-canal dressing (Group / Dressing): A1 : *Ledermix*, A2 : *Calxyl*, A3 : *Calcicur*, A4 : *Ultracal*, A5 : *Ultracal/Chlorhexamed*, A6 : *AH-Temp*.

The teeth were subjected to a pull-out test. The amount of force was measured in Newton which was required to dislodge each spreader from its canal. Subsequently, all spreaders were examined under a light microscope in order to evaluate the fracture mode.

Results

The roots treated with *Calxyl* (group A2, mean: 5,21 MPa) obtained significant higher adhesion as the control group (group A0, mean: 2.20 MPa, $p=0,007$) as well as to the *Ledermix* group (group A1, mean: 2,7 MPa, $p=0,004$). The *Ultracal* group (group A4, mean: 4.0 MPa) also obtained significant higher adhesion to the control group ($p=0,034$). No further significant differences resulted out of the other groups. In general, all the groups treated with dressings based on calcium hydroxide obtained higher arithmetic averages than the rest. The highest mean for bond strength was detected within the *Calxyl* group. The analysis of the fracture modes showed that most fractures where inside the sealer, being a cohesive fracture.

Conclusions

Root canals treated with an dressing based on calcium hydroxide obtain higher adhesion values to *AH 26* which may lead to better longtime results for such an endodontic treatment. Exeptionally, *Calxyl* obtained significant higher adhesion values in comparison to the control group and the roots treated with *Ledermix* dressing.

9 Anhang

9.1 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
μm	Mikrometer
Ca(OH)_2	Calciumhydroxid
CHX	Chlorhexidin
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
E. faecalis	Enterococcus faecalis
F_{max}	maximale Kraft
GIZ	Glasionomerzement
H_2O_2	Wasserstoffperoxid
MPa	Megapascal
N	Newton
NaOCl	Natriumhypochlorit

9.2 Frakturmodi

Tabelle 8: Auswertung der Frakturmodi

Gruppe	Probennummer	Frakturmodus
A0 - Kontrollgruppe	1	G (K/AD)
	2	K
	3	AD
	4	G (K/AD)
	5	AD
	6	G (K/AD)
	7	AD
	8	G (K/AD)
	9	AD
	10	AD
A1 - <i>Ledermix</i>	1	AD
	2	AD
	3	AD
	4	AD
	5	AD
	6	AD
	7	G (K/AD)
	8	AD
	9	AD
	10	AD
A2 - <i>Calxyl</i>	1	G (AS/AD)
	2	AD
	3	G (AS/AD)
	4	G (K/AD)
	5	K
	6	AD
	7	AD
	8	AD
	9	AD
	10	AD
A3 - <i>Calcicur</i>	1	AD
	2	AD
	3	K
	4	AD
	5	AD
	6	K
	7	AD
	8	AD
	9	AD
	10	K

Gruppe	Probennummer	Frakturmodus
A4 - <i>Ultracal</i>	1	G (K/AD)
	2	G (K/AD)
	3	AD
	4	AD
	5	AD
	6	AD
	7	AD
	8	G (K/AD)
	9	AD
	10	AD
A5 - <i>Ultracal/CHX</i>	1	G (K/AD)
	2	AD
	3	G (K/AD)
	4	AD
	5	K
	6	K
	7	AD
	8	G (K/AD)
	9	AD
	10	AD
A6 - <i>AH Temp</i>	1	K
	2	G (K/AD)
	3	K
	4	K
	5	AD
	6	AD

9.3 Messwerte

Tabelle 4: Messwerte der Gruppen mit Mittelwerten und Standardabweichung

Gruppe	Proben-nummer	F _{max} in MPa	Mittelwert	Standardabweichung
A 0 - Kontrollgruppe	1	1,38	2,29	1,67
	2	1,18		
	3	5,31		
	4	0,9		
	5	0,62		
	6	3,9		
	7	4,05		
	8	3,21		
	9	1,43		
	10	0,89		

Gruppe	Proben- nummer	F _{max} in MPa	Mittelwert	Standardabweichung
A 1 - <i>Ledermix</i>	1	0,88	2,7	1,55
	2	1,87		
	3	1,73		
	4	3,01		
	5	2,49		
	6	3,87		
	7	1,09		
	8	3,71		
	9	2,27		
	10	6,06		
A 2 - <i>Calxyl</i>	1	11,9	5,21	2,42
	2	6,18		
	3	5,37		
	4	3,03		
	5	4,27		
	6	6,42		
	7	5,19		
	8	2,54		
	9	4,02		
	10	3,99		
A 3 - <i>Calcicur</i>	1	2,9	3,68	1,51
	2	2,44		
	3	3,43		
	4	2,64		
	5	3,15		
	6	2,03		
	7	4,58		
	8	3,83		
	9	4,57		
	10	7,24		
A 4 - <i>Ultracal</i>	1	4,44	4	1,36
	2	6,35		
	3	3,61		
	4	2,97		
	5	2,41		
	6	3,24		
	7	4,8		
	8	2,07		
	9	4,91		
	10	5,21		
A 5 - <i>Ultracal/CHX</i>	1	2,59	3,52	1,25
	2	3,36		
	3	4,18		
	4	3,94		
	5	2,76		
	6	2,01		
	7	6,33		
	8	4,39		
	9	2,6		
	10	3,06		

Gruppe	Proben-nummer	F _{max} in MPa	Mittelwert	Standardabweichung
A 6 - <i>AH Temp</i>	1	4,23	3,98	1,32
	2	2,45		
	3	3,26		
	4	6,36		
	5	3,9		
	6	3,68		

9.4 Materialliste

Präparat	Hersteller
<i>AH 26</i>	Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland
<i>AH Temp</i>	Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland
Aqua dest.	Wiss. Labor, Philipps-Universität Marburg
<i>Calxyl</i>	OCO-Präparate GmbH, Dirmstein, Deutschland
<i>Calcicur</i>	Voco GmbH, Cuxhaven, Deutschland
<i>Cavit</i>	3M ESPE, Seefeld, Deutschland
Chloramin-T-Lösung 0,5%	Wiss. Labor, Philipps-Universität Marburg
Chlorhexamed-Gel	GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, Deutschland
<i>EndoActivator</i>	Dentsply Maillefer, Konstanz, Deutschland
experimentelle Spreader .02/ #25	Dentsply Maillefer, Konstanz, Deutschland
<i>FlexMaster</i> -Instrumente	VDW, München, Deutschland
grüner Schleifer, diamantiert	Hager & Meisinger GmbH, Neuss, Deutschland
<i>Hypochlorit-SPEIKO</i> 5,25%	Dr. Speiko GmbH, Münster, Deutschland
<i>KaVo FineAir</i>	KaVo Dental GmbH, Biberbach/Riß, Deutschland
<i>Ledermix</i>	RIEMSER Pharma GmbH, Deutschland
<i>Omnifix</i> 2 ml Einmalspritzen	B.Braun, Melsungen, Deutschland

Papierspitzen ISO 50,55	Henry Schein, Melville, NY, USA
<i>Rocatec</i>	3M ESPE, Seefeld, Deutschland
Scaler	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
Wurzelfüller (Lentulo-Spirale)	VDW GmbH, München, Deutschland
<i>Ultracal</i>	UP Dental GmbH, Köln, Deutschland
Universal-Prüfmaschine	Zwick GmbH & Co. KG, Ulm, Deutschland

9.5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Wurzelkanalfüllpasten.....	17
Tabelle 2: Eingesetztes Spülprotokoll.....	27
Tabelle 3: Die untersuchten experimentellen Gruppen mit Codierungen.....	28
Tabelle 4: Messwerte der Gruppen mit Mittelwerten und Standardabweichungen.....	74
Tabelle 5: Ergebnisse der statistischen Auswertung.....	38
Tabelle 6: Ergebnisse der statistischen Auswertung.....	39
Tabelle 7: Prozentuale Verteilung der Frakturmodi innerhalb der Testgruppen.....	39
Tabelle 8: Auswertung der Frakturmodi.....	73

9.6 Bilderverzeichnis

Abbildung 1: AH 26-Sealer mit Flüssigkeits- und Pulverkomponente.....	29
Abbildung 2: Universaltestmaschine mit Einspannvorrichtung und Widerlager	31
Abbildung 3: In Universaltestmaschine eingespannter Zahn vor Dezementierung.....	31
Abbildung 4: In Universaltestmaschine eingespannter Zahn nach Dezementierung.	32
Abbildung 5: Spannungs-Dehnungsdiagramm des Pullout-Versuchs.....	33
Abbildung 6: Spreader mit adhäsivem Versagen zum Spreader (AS).....	35
Abbildung 7: Spreader mit kohäsiver Fraktur (K).....	35
Abbildung 8: Spreader mit adhäsivem Versagen zum Dentin (AD).....	36
Abbildung 9: Spreader mit gemischtem Frakturmodus (G).....	36
Abbildung 10: Vergleich der mittleren Haftwerte der sieben Versuchsgruppen.....	38

9.7 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin waren die Damen und Herren, Professoren und Dozenten der Philipps-Universität Marburg:

Arweiler, Aumüller, Barth, Cetin, Coca, Feuser, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Glorius, Grundmann, Hasilik, Hoffken, Hoffmann, Korbmacher-Steiner, Lamp, Lill, Löffler, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Moll, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Jablonski-Momeni, Jerrentrup, Mutters, Pieper, Ramaswamy, Richter, Roggendorf, Ruchholtz, Sesterhenn, Sonntag, Steiniger, Weihe, Wennemuth, Werner, Westermann.

9.8 Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Adrian Rudolf Baral
Geburtsdatum:	18.09.1986
Geburtsort:	Frankenthal (Pfalz)
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Familienstand:	ledig

Schulischer Werdegang

1992 – 1996	Carl-Bosch-Grundschule, Frankenthal
1996 - 2005	Albert-Einstein-Gymnasium, Frankenthal (Abitur 03/2005)

Beruflicher Werdegang

05/2005 - 11/2005	Ausbildung zum Rettungssanitäter gefolgt mit praktischer Tätigkeit in der Rettungswache Frankenthal.
11/2005 – 04/2006	Einschreibung als Student der Zahnmedizin an der Universität Greifswald

04/2006	Aufnahme des Zahnmedizinstudiums in Marburg
05/2012	Staatsexamen
seit 06/2012	Arbeit an Promotionsarbeit in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Philipps-Universität Marburg
07/2013 – 09/2014	Assistenz Zahnarzt in der Zahnarztpraxis Dr. Thelen, Köln
10-11/2014	Einsatz (Volunteer) in Rahmen des <i>Dentist Without Limits</i> im Sushma Koirala Memorial Hospital (Nepal)
Seit 11/2014	Assistenz Zahnarzt in der Gemeinschaftspraxis Dr. Karstedt und Dr. Tasche, Solingen
2010/2012/2013	Einsätze (Volunteer) in der zahnmedizinischen Abteilung, Angkor Hospital for Children, Siem Reap (Kambodscha)

9.9 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Matthias Roggendorf für die Überlassung des Themas dieser Dissertation sowie die ausgezeichnete Betreuung und den Beistand bei allen Problemstellungen.

Ich möchte mich bei meinen ehemaligen Kommilitonen und jetzigen Kollegen für ihre fachliche sowie freundschaftliche Unterstützung bedanken, sowie bei allen anderen Freuden die mir während dieser Dissertation vom moralischen Beistand bis zum Korrekturlesen geholfen haben.

Nicht zuletzt möchte ich bei meiner Familie Bedanken welche mich während meines gesamten Werdeganges auf so viele verschiedenen Weisen gestützt und gestärkt hat.

9.10 Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel "*Einfluss verschiedener medikamentöser Einlagen auf den Haftverbund von AH 26 zum Wurzelkanalentin*" in der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Marburg, in der Abteilung für Zahnerhaltung unter Leitung von Prof. Dr. Roland Frankenberger mit Unterstützung durch Dr. M. J. Roggendorf ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Köln, 19.10.2016

Adrian Baral